



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**MAPEAMENTO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA AÇÕES DE
CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO
RIO DESCOBERTO**

Thaiane Vanessa Meira Nascente dos Santos

Brasília, dezembro de 2016.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MAPEAMENTO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA AÇÕES DE
CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO
RIO DESCOBERTO

Aluna: Thaiane Vanessa Meira Nascente dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves (EFL/UnB)

Linha de Pesquisa: Manejo de Bacias Hidrográficas.

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Florestal da
Universidade de Brasília, como parte das
exigências para obtenção do título de
Engenheira Florestal.*

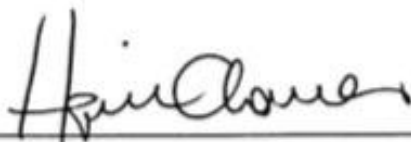
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MAPEAMENTO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA AÇÕES DE CONSERVAÇÃO
E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO DESCOBERTO

Aluna: Thaiane Vanessa Meira Nascente dos Santos

Matrícula: 10/0020968

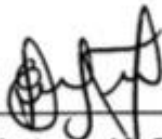
Menção: SS



Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Universidade de Brasília – UnB


Orientador



Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Universidade de Brasília – UnB

Co-orientador



Vardete Inês Maldaner

Instituto Brasília Ambiental - IBRAM

Membro da banca examinadora

Brasília, 12 de dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe, Tânia Regina Meira, por terem sido fonte de apoio e inspiração durante toda a minha graduação. Essa vitória dedico a vocês.

Agradeço a toda a toda equipe de professores e colaboradores do Departamento de Engenharia Florestal, por sua solicitude e presteza. Agradeço também a equipe do Colégio Ideal de Taguatinga/DF por terem me dado a base para cursar a minha graduação.

Agradeço a cada um dos meus professores da graduação, em especial ao meu orientador Henrique Chaves pela atenção e direcionamento na condução desta pesquisa. Agradeço também ao professor Eraldo Matricardi pela colaboração e auxílio no processamento dos dados. Agradeço à prof. Rosana Cristo Martins, pela orientação do meu projeto de iniciação científica e ao professor José Roberto Rodrigues pela orientação do projeto Beija-FAL.

Agradeço a cada um dos meus amigos floresteiros por todos os momentos que compartilhamos, cada uma das risadas, pela ajuda mútua para realização de cada tarefa, enfim, por tudo o que vivemos juntos. Agradeço especialmente à amiga Maria Tereza Leite Montalvão e ao Ivo Ian Leão pela colaboração em vários detalhes desta pesquisa.

Agradeço ao Instituto Brasília Ambiental – IBRAM a oportunidade de realizar estágio no Programa Adote uma Nascente, em especial aos colegas da Gerência de Monitoramento: Vandete Maldaner, Guilherme Thomé, Sandreani Nascente, Carlos Rocha, Renata Mongin, Kamila Menezes, Leandro Gregório, Almir Figueiredo, Rodrigo Santos, Airton Santos, Petrônio Diego, Leilane Lara, Patricia Valls e Filipe Garcia.

Agradeço ao Ministério do Meio Ambiente - MMA pela oportunidade de realizar estágio no âmbito da parceira com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, para a identificação dos gargalos para aplicação das Leis 12.651/2012 e 10.711/2003. Em especial agradeço aos colegas Luisa Rocha, Ísis Felipe, Ana Paula Silva, Henrique Marques, Mariah Luciano, Ana Teixeira, Regina Sambuichi, André Jardim e Mateus Motter.

Agradeço ainda ao Centro de Formação da Câmara dos Deputados pela oportunidade de realizar estágio na Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Agradeço a cada um dos colegas da equipe, em especial ao chefe Aurenilton Araruna, Marcelo Costa, Eliane Oliveira, Gleisson Mangueira, Jordânia Alves, Wallace Oliveira e Larissa Bezerra.

Agradeço aos parceiros de ecoturismo científico e educação ambiental do projeto Beija-FAL por cada momento compartilhado. Em especial aos queridos Matheus Alves, Gabriel Postiglioni, Milena Coelho, Geórgia Franco, João Carlos, Victória Matos, Eduardo Horowitz e Fernanda Graciano.

Agradeço ao Sítio Geranium, e à querida Abadia Barberato, pela oportunidade de aprender e vivenciar experiências incríveis no viveiro de ervas medicinais. Agradeço à toda equipe do GAIA Brasília pelos ensinamentos valiosos transmitidos durante toda a extensão do curso. Agradeço também ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio pela oportunidade de realizar o programa de voluntariado no Parque Nacional da Serra da Bocaina (RJ).

Finalmente agradeço ao Meliá Hotels International, em especial à Cinthia Guedes, pela parceria e confiança na realização de ações para restauração de nascentes. Agradeço também aos senhores Francisco e Gracilene da nascente Aurora e ao sr. Paulo, da nascente Bela Vista, pelo carinho e confiança.

A cada um de vocês, o meu MUITO OBRIGADA!!!

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto possui 1.289,42 km² e está localizada na divisa oeste entre o Distrito Federal e o estado de Goiás, sendo responsável por mais de 60% do abastecimento de água destinado ao consumo humano no Distrito Federal. Sua região vem sofrendo uma intensa ocupação do solo que resulta na conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e urbanas, o que tem afetado a quantidade e a qualidade da água da bacia, de modo que ações de recuperação ambiental e conservação do solo são agora necessárias. A análise multicritérios é um método que permite a análise de várias alternativas, útil para o manejo de bacias hidrográficas pois utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, possibilitando identificar alternativas mais adequadas dentre as consideradas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo selecionar áreas prioritárias para conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto, visando ao aumento da quantidade e da qualidade da água, com base em análise de múltiplos critérios em ambiente SIG. Para atingir os objetivos, foram analisados os usos atuais das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e para as demais áreas da bacia foi feito uma análise multicritério para definir a prioridade de ações de conservação de solo e recuperação ambiental, segundo os fatores: Distância à rede de drenagem, Fator Número-Curva (CN), Erodibilidade e Declividade. Foram necessários os planos de informação: limites da bacia hidrográfica, mapa de uso e cobertura do solo, rede de drenagem, mapa de solos, mapa de áreas urbanas e modelo digital de elevação – DEM. Os resultados obtidos foram o mapa de APPs e os respectivos usos do solo identificados nessas áreas e o mapa de áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental nas áreas fora das APPs. Ambos os mapas finais foram reclassificados, de maneira a apresentar três graus de prioridade. Observou-se que 31,70% do total de APPs da Bacia do Rio Descoberto foram consideradas de alta prioridade para ações de recuperação, por estarem em áreas urbanas, com solo exposto ou sob cultivos agrícolas. Em relação à análise multicritérios, 47,01% da área analisada foi classificada como de alta prioridade de intervenção, por apresentar simultaneamente valores críticos para todos os fatores. Foi verificado o potencial da região para a aplicação de programas de pagamentos por serviços ambientais, visto que foram identificadas diversas situações em que investimentos são necessários, como na recuperação de áreas de preservação permanente e na adoção de boas práticas de manejo em cultivos agrícolas.

Palavras-chave: engenharia florestal, sustentabilidade, manejo de recursos hídricos, análise multicritérios, áreas de preservação permanente, conservação do solo e da água, manejo de bacias hidrográficas, modelagem ambiental, uso e cobertura do solo.

ABSTRACT

The Descoberto's River Basin covers an area of 1.289,42 km² and is located in the west border between Distrito Federal and Goiás, being responsible for more than 60% of water supply for human uses in Distrito Federal. It's region has been suffering an intense process of human occupation, with conversion of natural areas to urban and agricultural uses, which has been affecting the quality and the quantity of the water in this watershed, so that environment restoration and soil conservation practices are now required. The multicriterial analysis is a method that permits the simultaneous analysis of multiple alternatives to the same object, being useful to watershed's management because it makes possible to select the most adequate alternatives among all considered. In this context, the present work aims to select priority areas to soil conservation and environment restoration practices, aiming to enhance water's quality and quantity, based on a multicriterial analysis in GIS. To reach the goals, the permanent preservation areas were analyzed by their current soil cover and use and to the other areas of the basin was made a multicriterial analysis to define their priority to soil conservation and environment restoration practices, under the following criteria: Curve number factor, soil erodibility, slope and distance to the drainage network. The following information layers were necessary: watershed boundaries, land use/land cover map, drainage network, urban areas map and digital elevation model. The obtained results shows the mapping of the permanent preservation areas and their current land use and the map of the priority areas for soil conservation and restoration practices beyond the permanent preservation areas. Both the final maps were reclassified to three classes of priority. It was observed that 31,7% of all the permanent preservation areas were considered of high priority to environment restoration practices, because they are under urban areas, agricultural crops or exposed soil. Regarding to the multicriterial analysis, 47,01% of the analyzed area was considered of high priority of intervention, for presenting critical values for all the criteria. It has been verified the potential of the region to host a project for payment for environmental services, since many investment situations are necessary, like in the restoration of the permanent preservation areas and in the adoption of sustainable management practices to agricultural crops.

Key words: forest engineering, sustainability, water resources management, multicriterial analysis, permanent preservation areas, soil and water conservation, watershed management, environmental modelling, land use/land cover.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. PROBLEMAS DE PESQUISA.....	12
2.1. Questões de pesquisa.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. Objetivo Geral.....	13
3.2. Objetivos Específicos.....	13
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
4.1. Problemática ambiental da Bacia do Rio Descoberto.....	13
4.2. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento.....	15
4.3. Conservação do solo e da água em bacias hidrográficas.....	15
4.4. Áreas de preservação permanente.....	17
4.5. Geoprocessamento aplicado ao manejo de bacias hidrográficas.....	18
4.6. Análise multicritérios como ferramenta para tomada de decisão.....	20
4.6.1. Critérios de priorização.....	22
I. Distância à Rede de Drenagem.....	22
II. Número-Curva - CN.....	23
III. Erodibilidade do Solo.....	24
IV. Declividade.....	25
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
5.1 Caracterização da área de estudo.....	26
5.2 Base de dados.....	28
5.2.1 Rede de Drenagem.....	28
5.2.2 Imagem LANDSAT.....	30
5.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE).....	31
5.2.4 Mapa de áreas urbanas.....	32
5.2.5 Mapa de solos.....	33
5.3 Metodologia.....	34
5.3.1 Limite da bacia hidrográfica.....	34
5.3.2 Geração do mapa de uso e cobertura do solo.....	35
5.3.3 Análise de áreas de preservação permanente.....	36
5.3.4 Análise multicritérios.....	37
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
6.1 Uso e cobertura do solo.....	42
6.2 Áreas de Preservação Permanente.....	46

6.3	Análise Multicritérios	53
6.3.1	Fator I: Distância à rede de drenagem	53
6.3.2	Fator II: Número-Curva (CN).....	56
6.3.3	Fator III: Erodibilidade	58
6.3.4	Fator IV: Declividade	60
6.4	Mapa de restrições	63
6.5	Áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto	64
6.6	Medidas de conservação do solo e recuperação ambiental.....	68
7.	CONCLUSÃO.....	72
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Bacia do Rio Descoberto	27
Figura 2: Rede de drenagem da Bacia do Rio Descoberto, indicando as localizações do Lago do Descoberto e do reservatório Corumbá IV.....	29
Figura 3: Imagem orbital obtida pelo Sensor OLI, a bordo do satélite LANDSAT 8 (RGB 321)	30
Figura 4: Modelo Digital de Elevação TOPODATA extraído para a Bacia do Rio Descoberto, com indicação da localização da rede de drenagem.....	31
Figura 5: Localização das áreas urbanas na Bacia do Rio Descoberto (Adaptado de SIEG, 2010).....	32
Figura 6: Mapa de solos da Bacia do Rio Descoberto	33
Figura 7: Fluxograma dos passos seguidos para a análise multicritérios.....	38
Figura 8: Classificação hidrológica dos solos da Bacia do Rio Descoberto	39
Figura 9: Mapa de uso do solo da Bacia do Rio Descoberto	43
Figura 10: Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente na Bacia do Rio Descoberto.....	47
Figura 11: Uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Rio Descoberto.....	48
Figura 12: Reclassificação do mapa de áreas de preservação permanente, de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 9.	51
Figura 13: Distância euclidiana em relação à rede de drenagem.	54
Figura 14: Reclassificação do mapa de distância à rede de drenagem, de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 6.	55
Figura 15: Espacialização do coeficiente CN na Bacia do Rio Descoberto, de acordo com o grupo hidrológico de solo e o tipo de uso do solo.	56
Figura 16: Reclassificação do mapa do Fator CN, de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 7.	57
Figura 17: Valores de referência de erodibilidade aplicados aos solos identificados na Bacia do Rio Descoberto.	58
Figura 18: Reclassificação do mapa de erodibilidade dos solos, de acordo com os critérios demonstrados na Tabela 6.	60
Figura 19: Mapa de declividade (em graus) da Bacia do Rio Descoberto.....	61
Figura 20: Reclassificação do mapa de declividade, de acordo com os critérios demonstrados na Tabela 6.	63
Figura 21: Mapa de restrições aos objetivos da análise multicritérios na Bacia do Rio Descoberto.	64
Figura 22: Mapa de áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto, classificadas em três níveis de prioridade.....	65
Figura 23: Uso do solo nas áreas consideradas de alta prioridade para ações de conservação e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Códigos atribuídos aos tipos de uso de solo	35
Tabela 2: Tipos de áreas de preservação permanente analisadas e suas respectivas metragens.	37
Tabela 3: Descrição dos grupos hidrológicos de solo de acordo com Sartori (2004, apud SARTORI et al., 2005), bem como os tipos de solos correspondentes.	38
Tabela 4: Valores tabelados de Número-Curva (CN) de acordo com o tipo de uso do solo e com o grupo hidrológico a que o solo pertence.	40
Tabela 5: Valores de erodibilidade para os diferentes tipos de solos encontrados na Bacia do Rio Descoberto.	40
Tabela 6: Escores utilizados para reclassificar os mapas, de acordo com a fragilidade ambiental.	41
Tabela 7: Classes de uso e suas respectivas áreas	43
Tabela 8: Classes de uso identificadas nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) da Bacia do Rio Descoberto.	49
Tabela 9: Reclassificação das APPs em 3 classes de prioridade de intervenção, definidas em função do tipo de uso observado.	49
Tabela 10: Quantificação das áreas de preservação permanente em cada classe de prioridade.	52
Tabela 11: Quantificação de áreas prioritárias para ações de conservação em relação à sua distância em relação à rede de drenagem.	55
Tabela 12: Quantificação das áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto.	66
Tabela 13: Quantificação das classes de uso do solo identificadas nas áreas de alta prioridade para ações de conservação ambiental na Bacia do Rio Descoberto.	68

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Descoberto é responsável por mais de 60% do abastecimento de água destinado ao consumo humano no Distrito Federal, mas sua região vem sofrendo uma intensa ocupação do solo por meio da conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e urbanas (NUNES, 2014). Araújo *et al.* (2011) destacam que o crescimento demográfico acelerado no Distrito Federal, aliado ao manejo inadequado e intensivo dos solos, tem comprometido a disponibilidade hídrica de forma quantitativa e qualitativa, de forma que já se verifica a necessidade de estudos que subsidiem a elaboração de planos e diretrizes voltados para a preservação dos recursos hídricos e sua utilização de forma sustentável.

Para Pires *et al.* (2002), as principais causas de ameaças à qualidade ambiental em uma bacia hidrográfica estão relacionadas às atividades não sustentáveis, que visam apenas o lucro imediato e ignoram os custos ambientais e sociais da degradação ambiental. Dentre os impactos de maior ocorrência em bacias hidrográficas estão elencados problemas de erosão dos solos, enchentes, perda da qualidade da água e aumento do risco de extinção de elementos da fauna e flora.

Gerenciar os recursos naturais com enfoque na conservação e recuperação ambiental é fundamental para a conservação do solo e da água, elementos essenciais de sustentação dos sistemas agrícolas e naturais (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010). Os autores enfatizam a importância da aplicação de técnicas conservacionistas visando ao desenvolvimento de sistemas sustentáveis, de modo que a otimização no uso do solo e da água contribua para a mitigação de impactos ambientais.

Para Câmara e Medeiros (2006), na gestão do território sob uma ótica moderna, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, o que inclui o meio físico-biótico, a ocupação humana e seu inter-relacionamento. Portanto, resolver problemas e tomar decisões sobre o uso sustentável de recursos naturais geram uma demanda por integração de dados, além de conhecimento de um amplo espectro de disciplinas (LASKAR, 2003).

As avaliações multicritério - AMC são ferramentas de apoio ao planejamento e à decisão, onde, por meio de técnicas estatísticas e matemáticas, criam-se condições que possibilitam a combinação e a comparação de cenários, evidenciando o gerenciamento de opções de escolha (GRISOTTO *et al.*, 2012). Francisco *et al.* (2007) destacam a utilidade

do ambiente SIG para especializar e possibilitar a análise multicritérios, dando suporte ao planejamento ambiental, especialmente para áreas com maior enfoque ambiental.

Os Sistemas de Informações Geográficas - SIGs realizam a integração de dados provenientes de diferentes áreas da ciência, permitindo a análise de múltiplos aspectos de um determinado assunto (NUNES, 2014). Para Pires *et al.* (2002), os SIGs e as imagens orbitais, obtidas por sensoriamento remoto, são importantes instrumentos para a gestão de bacias hidrográficas, pois auxiliam na determinação de medidas de manejo ambiental.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo selecionar áreas prioritárias para conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto, visando ao aumento da quantidade e da qualidade da água, com base em análise de múltiplos critérios em ambiente SIG.

2. PROBLEMAS DE PESQUISA

A Bacia do Rio Descoberto é a fonte de abastecimento de água de mais da metade da população do Distrito Federal, porém órgãos ambientais já estão em estado de atenção por possibilidade de escassez hídrica (ADASA, 2016). O processo desordenado de ocupação do solo e a conversão de áreas naturais para uso antrópico vêm afetando a quantidade e a qualidade da água da bacia (ARAÚJO *et al.*, 2011), de modo que ações de recuperação ambiental e conservação do solo são agora necessárias, tanto do ponto de vista ambiental quanto legal.

A priorização de áreas para ações concretas de recuperação ambiental se faz necessária, para que a eficiência na alocação dos recursos seja alcançada. Ações de conservação do solo estão sendo difundidas e comprovadas como eficientes para a contenção de processos erosivos, que tanto afetam a qualidade da água e a produtividade agrícola. Já a recuperação e a preservação de remanescentes florestais são vistas como necessárias para a manutenção da biodiversidade e do ciclo hidrológico.

Dessa maneira, entender quais áreas estão envolvidas no provimento de determinados serviços ambientais facilita o planejamento territorial e a compatibilização de atividades, em prol de um maior benefício social, econômico e ambiental.

2.1. Questões de pesquisa

O presente trabalho envolve as seguintes questões de pesquisa: Qual a situação atual de uso do solo da bacia do rio Descoberto? Quais fatores são mais relevantes para

escolha de áreas para conservação do solo e recuperação ambiental? Qual a situação atual das áreas de preservação permanente exigidas pelo Código Florestal? Além das áreas de preservação permanente, quais áreas devem ser priorizadas em projetos de recuperação ambiental? Que medidas poderiam ser adotadas para recuperar e conservar áreas prioritárias na bacia?

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo selecionar áreas prioritárias para conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto, visando ao aumento da quantidade e da qualidade da água, com base em análise de múltiplos critérios em ambiente SIG

3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar a situação atual de uso do solo da Bacia do Rio Descoberto.
- Localizar as áreas de preservação permanente e identificar os usos atuais nessas áreas.
- Selecionar critérios para a priorização de áreas para ações de conservação de solo e recuperação ambiental.
- Analisar diferentes fatores de priorização de áreas para conservação de solo e recuperação ambiental por meio de análise multicritérios em ambiente SIG.
- Selecionar áreas prioritárias para a conservação de solo e recuperação ambiental.
- Propor medidas alternativas de conservação e recuperação de áreas prioritárias na bacia estudada.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Problemática ambiental da Bacia do Rio Descoberto

A Bacia do Rio Descoberto localiza-se na divisa oeste entre o Distrito Federal e o estado de Goiás, e é responsável por mais de 60% do abastecimento de água destinado ao consumo humano no Distrito Federal (NUNES, 2014). O suprimento de água foi

viabilizado pela construção de uma barragem no rio Descoberto, que deu origem ao reservatório do lago do Descoberto, que atualmente atende as demandas das cidades de Taguatinga, Ceilândia, Samambaia, Riacho Fundo, Recanto das Emas, Santa Maria, Gama, Núcleo Bandeirante, Candangolândia, Guará, Cruzeiro e parte de Brasília (BRASIL, 2009, *apud* NUNES, 2014).

Para Nunes (2014), a região do Alto Rio Descoberto (área à montante do reservatório) vem sofrendo uma intensa ocupação do solo por meio da conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e urbanas, principalmente após a construção da barragem. A autora destaca que tais ocupações, caso não respeitem um planejamento adequado, constituem ameaças aos recursos naturais, com possíveis impactos para a qualidade dos recursos hídricos.

Araújo *et al.* (2011) destacam que o crescimento demográfico acelerado no Distrito Federal, aliado ao manejo inadequado e intensivo dos solos, tem comprometido a disponibilidade hídrica de forma quantitativa e qualitativa. Os autores verificaram que os diferentes usos e ocupações das terras nas áreas próximas à região das nascentes do Rio Descoberto influenciaram no teor de cloreto da água, indicando uma possível descarga de esgoto nos córregos.

Do Carmo *et al.* (2003) realizaram um estudo geoquímico para caracterização da qualidade da água na bacia do Rio Descoberto e verificaram altas concentrações de elementos como P (fósforo), Mn (manganês), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio) e Ba (bário), demonstrando os efeitos da atividade antrópica na região e a contribuição do Distrito Federal no processo de alteração geoquímica na bacia. Os autores observaram que grande parte dos afluentes do Rio Descoberto, como o Rio Melchior, recebem efluentes domésticos sem tratamento, evidenciando a possibilidade de contaminação desses mananciais tão importantes para o abastecimento público.

Araújo *et al.* (2011) defendem a necessidade de estudos que subsidiem a elaboração de planos e diretrizes voltados para a preservação dos recursos hídricos e sua utilização de forma sustentável. Nesse sentido, enfatizam o potencial do geoprocessamento para acompanhar o desenvolvimento e a implementação de políticas e ações de desenvolvimento sobre a área da Bacia do Rio Descoberto.

4.2. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento

A bacia hidrográfica é uma porção do território limitada por divisores topográficos, que atua como um reservatório de água e sedimentos. Essa formação geográfica recolhe a precipitação e é drenada por um conjunto de cursos d'água, de forma que toda a vazão efluente é descarregada em uma seção única, chamada exutório (FREIRE & DE OMENA, 2005).

Para Pires *et al.* (2002), o conceito de bacia hidrográfica envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes. As bacias hidrográficas são consideradas por muitos autores como unidades ideais para o planejamento do território (BERNARDI *et al.*, 2012; PIRES *et al.*, 2002; LORANDI & CANÇADO, 2002), pois integram a paisagem e apresentam sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos (DASMANN *et al.*, 1973, *apud* PIRES *et al.*, 2002).

Esse conceito foi consagrado no Brasil, estando disposto na Lei Federal nº 9.433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997). De acordo com a lei, a gestão dos recursos hídricos deve ser realizada de maneira descentralizada, tomando como unidade territorial a bacia hidrográfica. Dentre as diretrizes gerais de ação para a implementação da PNRH encontra-se a gestão integrada dos recursos ambientais, ou seja, a gestão dos recursos hídricos deve ser realizada de maneira associada e articulada à gestão de outros recursos ambientais, visando a uma integração das políticas de planejamento numa mesma base territorial.

Lorandi & Cançado (2002) defendem três pontos principais a serem considerados no planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas: a) incorporação de todos os recursos ambientais da área de drenagem e não apenas o hídrico; b) adoção de abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos; e c) inclusão, na utilização dos recursos, dos objetivos de qualidade ambiental desses recursos, visando ao aumento da produtividade e à diminuição dos impactos e riscos ambientais na bacia de drenagem.

4.3. Conservação do solo e da água em bacias hidrográficas

Para Minella *et al.* (2010), trazer o princípio do desenvolvimento sustentável para o campo do real significa realizar um esforço para aperfeiçoar as metodologias de gerenciamento dos recursos naturais, de modo a atender as necessidades atuais sem comprometer as necessidades futuras. Para Albuquerque *et al.* (2010), gerenciar os

recursos naturais com enfoque na conservação e recuperação ambiental é fundamental para a conservação do solo e da água, elementos essenciais de sustentação dos sistemas agrícolas e naturais. Os autores destacam a importância da aplicação de técnicas conservacionistas visando ao desenvolvimento de sistemas sustentáveis, de modo que a otimização no uso do solo e da água contribua para a mitigação de impactos ambientais.

Pires *et al.* (2002) destacam que as principais causas de ameaças à qualidade ambiental em uma bacia hidrográfica estão relacionadas às atividades não sustentáveis, as quais ignoram os custos ambientais e sociais da degradação ambiental, visando apenas o lucro imediato. Segundo os autores, os impactos de maior ocorrência em bacias hidrográficas estão associados aos problemas de erosão dos solos, sedimentação de canais navegáveis, enchentes, perda da qualidade da água e do pescado e aumento do risco de extinção de elementos da fauna e flora.

A erosão, do ponto de vista edafológico e ambiental, é um processo que promove o arraste de nutrientes, partículas e materiais do solo, reduzindo a produtividade agrícola e produzindo poluição e assoreamento de cursos d'água, sendo considerada uma das principais causas da degradação dos solos nas regiões tropicais (DE MARIA, 2010).

Para Sobral Filho *et al.* (1982), no Brasil, os primeiros esforços voltados à conservação do solo e da água se concentraram nas práticas mecânicas de terraceamento, construção de curvas de nível e de canais escoadouros, além do plantio em nível ou em faixas (*apud* DE ANDRADE *et al.*, 2010). De Andrade *et al.* (2010) destaca que gradualmente as práticas conservacionistas foram avançando no Brasil, sendo incorporadas diversas outras técnicas para proteger o solo, como o plantio direto, que atua protegendo as camadas superiores do solo contra o impacto das gotas de chuva, evitando o transporte desses materiais.

A sustentabilidade da produção agrosilvipastoril, que garanta segurança alimentar e preservação ambiental, está associada ao planejamento do uso da terra e ao manejo do solo e da água, com adoção de sistemas conservacionistas (DE ANDRADE *et al.*, 2010). De acordo com os autores, os sistemas conservacionistas envolvem tanto a adoção de práticas de baixo impacto ambiental para manejo do solo e de culturas agrícolas, quanto a proteção às formações de vegetação natural e a recuperação de áreas degradadas.

A vegetação desempenha um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de volumes de água (TUCCI, 2006). Atua como uma proteção ao solo, interceptando as

gotas de chuva, de modo a reduzir seu impacto sobre a superfície do solo. Também desempenha papel importante no ciclo hidrológico, através da evapotranspiração de suas folhas. Além disso, a vegetação ripária atua como uma barreira ao transporte de sedimentos, diminuindo a velocidade do escoamento superficial e evitando o assoreamento de rios e alta quantidade de sólidos em suspensão nas águas.

O “Perfil do Ecossistema do Cerrado” (ISPN, 2016) destaca que a vegetação realiza um serviço indireto fundamental por meio de seu papel na hidrologia dos estoques e fluxos superficiais de água. Além de manter a disponibilidade de água ao longo do tempo, a cobertura vegetal também é essencial para a qualidade da água. Os benefícios desses serviços não se limitam à sua origem, restando-se compartilhados com toda a extensão do curso d’água.

Desta forma, a manutenção da vegetação ripária tem efeito direto e relevante na segurança hídrica, portanto torna-se de extrema urgência a convergência de ações de recuperação ambiental, conservação da biodiversidade e gestão dos recursos hídricos, no sentido de que suas efetividades sejam elevadas.

4.4. Áreas de preservação permanente

As áreas de preservação permanente são locais importantes para a prestação de serviços ecossistêmicos, como a manutenção do ciclo hidrológico e a proteção do solo. Segundo a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, 12.651/2012 (BRASIL, 2012), considerada como o novo Código Florestal, entende-se por Área de Preservação Permanente - APP: “Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

A Lei Federal 12.651/2012, estabelece alguns tipos de restrições administrativas visando compatibilizar as atividades humanas à conservação da natureza, de acordo com o tipo de APP. Nesse sentido, é de grande importância identificar as áreas que, segundo a legislação, deveriam ser de preservação permanente. Justamente por suas importantes funções ambientais, como assegurar a qualidade e a quantidade de recurso hídrico, estas áreas devem, salvo casos excepcionais previstos em lei, ser mantidas com a cobertura vegetal nativa.

4.5. Geoprocessamento aplicado ao manejo de bacias hidrográficas

Segundo Câmara e Davis (2001), o termo Geoprocessamento refere-se à disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Suas ferramentas computacionais, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica, ao integrar e armazenar dados com informações espaciais, permitem a realização de análises complexas.

Câmara e Davis (2001), destacam o grande potencial do Geoprocessamento no Brasil, pois o país tem dimensões continentais e verifica-se uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais. Câmara e Medeiros (2006) defendem que, na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, o que inclui o meio físico-biótico, a ocupação humana e seu inter-relacionamento.

Para Druck *et al.* (2004), o termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Nunes (2014) faz um debate acerca da importância da utilização do SIG como ferramenta de integração de dados para apoiar o planejamento e a gestão ambiental, por meio de uma análise multifuncional dos valores ecológicos, socioculturais e econômicos da região. Com a espacialização dos dados é possível analisar a relação causa-efeito entre os componentes ambientais e montar cenários sobre as possibilidades de intervenção.

Em um SIG, existem basicamente dois formatos de dados, que são representações das entidades do mundo real: Dados vetoriais e Dados matriciais (também chamados de Raster). Segundo Câmara e Monteiro (2001), a representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. Já o formato vetorial representa as feições como pontos, linhas ou polígonos. Ao vetor associa-se um banco de dados que armazena seus atributos (BECKER, 2002).

Os SIGs permitem a múltipla análise de diferentes dados temáticos acerca de um determinado assunto, realizando a integração de dados provenientes de diferentes áreas da ciência, como as do sensoriamento remoto, da cartografia, da biologia, das ciências

sociais, entre outras, a fim de que se obtenha a representação do mundo real (NUNES, 2014).

Menezes (2012) defende o Sensoriamento Remoto como uma das mais bem-sucedidas tecnologias de coleta automática de dados para o levantamento e monitoração dos recursos terrestres em escala global. O autor cita que a definição mais aceita para o termo Sensoriamento Remoto é a seguinte: *“É uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto”*.

No Sensoriamento Remoto, o objeto imageado é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética que o objeto emite ou reflete. São exemplos de produtos de sensoriamento remoto as imagens obtidas de satélites e as fotografias aéreas (MENESES, 2012).

Pires *et al.* (2002) destacam a utilização de SIGs e de imagens orbitais, obtidas por sensoriamento remoto, na gestão de bacias hidrográficas, pois auxiliam na determinação de medidas de manejo ambiental. O objetivo do manejo integrado de bacias hidrográficas é a compatibilização entre produção e preservação ambiental. Busca-se uma adequação da interveniência antrópica às características biofísicas dessas unidades naturais, sob gestão integrativa e participativa, de forma que sejam minimizados impactos negativos e se garanta o desenvolvimento sustentado (SOUZA & FERNANDES, 2000, *apud* SANTANA, 2003).

Os SIGs permitem armazenar e sobrepor diversas informações espaciais da bacia hidrográfica, permitindo a comparação e correlação entre as informações. Pires *et al.* (2002) enumeram algumas das diversas funcionalidades desses sistemas, incluindo a possibilidade de gerar bancos de dados geocodificados, elaborar modelos para entendimento da paisagem e executar modelagens espaciais, além de auxiliar os tomadores de decisão na definição de diretrizes em relação ao planejamento territorial numa bacia hidrográficas.

Becker (2002) destaca a relação essencial entre a abordagem conceitual de bacias hidrográficas e de sistemas de informação geográficas, pois ambos trazem intrinsecamente a noção de espaço. Os padrões e processos que ocorrem dentro de uma bacia hidrográfica são fortemente determinados ou associados à sua posição no espaço, absoluta ou relativa a outros objetos. Em SIG essa premissa também se mostra verdadeira,

pois todos os dados apresentam uma localização única e inequívoca, uma vez georreferenciados a um sistema de coordenadas.

Segundo Becker (2002), a importância do conceito de escala deve ser considerada na análise dos processos ecológicos em uma bacia hidrográfica. O autor cita o estudo de Hunsacker & Levine (1995), que utilizaram SIG para analisar a influência de processos terrestres, da escala e da resolução dos dados sobre a qualidade da água em duas regiões dos EUA. Os pesquisadores, ao encontrarem resultados conflitantes, observaram que a discrepância poderia ser atribuída às diferenças na resolução dos dados e à abordagem realizada, pois alguns conceitos válidos em escala de bacia, podem não ser fieis se adotados a nível de curso d'água.

Para Goodchild & Quattrochi (1997), o conceito de escala pode ser utilizado no contexto espacial, temporal ou qualquer outra dimensão da pesquisa, podendo referir-se à magnitude de um estudo ou ao seu grau de detalhamento (*apud* Becker, 2002). August *et al.* (1996), conforme citado por Becker (2002), destacam a vantagem de os procedimentos realizados em SIG serem independentes de escala, tornando possível a modelagem espacial tanto a nível local, de alto detalhamento (grande escala), ou num nível regional, de baixa resolução (pequena escala). Porém, a profundidade da análise e a confiabilidade dos dados está intrinsicamente relacionada à escala de análise e à resolução espacial e temporal dos dados.

4.6. Análise multicritérios como ferramenta para tomada de decisão

Resolver problemas e tomar decisões sobre o uso sustentável de recursos naturais geram uma demanda por integração de dados, além de conhecimento de um amplo espectro de disciplinas (LASKAR, 2003). Francisco *et al.* (2007) defendem que a análise multicritérios é um método de análise de alternativas para resolução de problemas, que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, possibilitando identificar as alternativas prioritárias dentre as consideradas.

Para Grisotto *et al.* (2012), as avaliações multicritério - AMC são ferramentas de apoio ao planejamento e à decisão, onde, por meio de técnicas estatísticas e matemáticas, criam-se condições que possibilitam a combinação e a comparação de cenários. Os autores ressaltam que este tipo de análise evidencia o gerenciamento de opções de escolha, buscando orientar a tomada de decisão na direção de uma escolha acertada.

Diversos autores têm utilizado a abordagem de múltiplos critérios para a análise de adequação de áreas à determinados objetivos (VETORAZZI, 2006; SARTORI, 2010; CAIXETA *et al.*, 2012; VALENTE & VETORAZZI, 2005; FRANCISCO *et al.*, 2007; BOCHNER, 2010). Francisco *et al.* (2007) destacam a utilidade da espacialização da análise multicritérios em ambiente SIG, como suporte ao planejamento ambiental de áreas degradadas e de outras áreas com maior enfoque ambiental, como as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Nossack *et al.* (2011) utilizaram a análise multicritérios para a definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal, visando à conectividade entre fragmentos. Para a análise dos critérios, foi utilizada a Combinação Linear Ponderada. Os autores destacaram a adequabilidade da análise ao objetivo do estudo, por entenderem o método como fácil, flexível e robusto, além de aplicável a outras situações de análise ambiental.

Sartori (2010) realizou uma análise multicritérios para definir áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais. Concluiu que a AMC, em ambiente SIG, é adequada ao mapeamento de áreas prioritárias à restauração florestal em bacias hidrográficas. O autor destaca a grande utilidade do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para a comparação dos fatores, de modo a reduzir a subjetividade na determinação da importância relativa de cada um deles.

Vetorazzi (2006), citando Jankowski e Adrienko & Adrienko (2001), faz um debate acerca do papel dos mapas como fonte de estrutura em problemas de decisão espacial multicritérios. O autor defende que na AMC o papel dos mapas extrapola a mera exibição do espaço geográfico de decisão e de resultados. Tornam-se, na verdade, “índices visuais”, que possibilitam ao usuário o ordenamento de opções de decisão, assinalando as prioridades e aumentando as opções de saída, pelo conhecimento derivado dos mapas.

Para definir áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos por meio de avaliação multicritérios, Vetorazzi (2006) utilizou os fatores “adequação do uso da terra”, “erodibilidade do solo”, “erosividade da chuva”, “proximidade à malha viária” e “proximidade à rede hidrográfica”. Seus fatores foram definidos com auxílio da Técnica Participatória, com consulta à bibliografia e com embasamento em sua experiência prévia em projetos análogos.

Valente (2005) utilizou a abordagem multicriterial em ambiente SIG para definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal numa bacia hidrográfica do estado de São Paulo. Por meio de revisão de literatura, embasamento em projetos anteriores e do uso da Técnica Participatória, a autora definiu os seguintes fatores para sua análise: “proximidade entre fragmentos de maior área nuclear”, “proximidade à cobertura florestal”, “proximidade à rede hidrográfica”, “distância aos centros urbanos”, “distância à malha viária” e “vulnerabilidade à erosão”, tendo posteriormente à realização de análise de sensibilidade entre os parâmetros optado por não utilizar o fator “proximidade à malha viária”.

Para definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais por meio de análise multicritérios, Sartori (2010) utilizou-se da Técnica Participatória para definir os fatores importantes à sua análise. Foram eles: “proximidade entre fragmentos de maior área nuclear”, “proximidade da cobertura florestal”, “proximidade da rede hidrográfica”, “distância aos centros urbanos”, “declividade” e “erodibilidade do solo”.

Chaves & Alipaz (2007), citando estudo do “Habitat Conservation Trust Fund” (2003), destacam que indicadores de sustentabilidade em bacias hidrográficas devem ser disponíveis (públicos e de fácil acesso), compreensíveis (de fácil entendimento por ampla gama de não-especialistas), relevantes (que reflitam mudanças no manejo ou outras atividades na bacia) e integrativos (devem demonstrar a conexão entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos da sustentabilidade).

Seguindo as recomendações enfatizadas por Chaves & Alipaz (2007) e buscando correlação entre os critérios escolhidos e aspectos de qualidade e quantidade de água, foram selecionados para análise os seguintes critérios: Distância à rede de drenagem; Coeficiente Número-Curva, Erodibilidade dos solos e a Declividade do terreno

4.6.1. Critérios de priorização

I. Distância à Rede de Drenagem

As áreas mais próximas aos cursos d’água, se corretamente manejadas, podem funcionar como barreiras ao transporte de sedimento aos cursos d’água. Chaves *et al.* (1997) destacam a estreita relação entre a largura da faixa coberta com vegetação nativa junto à rede de drenagem e a retenção de sedimentos. Os autores realizaram um estudo próximo à bacia do rio Descoberto, dentro do Parque Nacional de Brasília, e compararam

a eficiência de retenção de sedimentos das matas nativas em função de sua largura e do uso da terra à montante.

A demanda por maiores faixas de vegetação ripária junto aos corpos d'água aumenta à medida que se converte a vegetação nativa por outros usos, como a agricultura. O aumento também acontece em relação à taxa de erosão média, que ficou em 0,6 kg/m² para um cerrado nativo, 1,0 kg/m² para um pasto e 2,8 kg/m² para agricultura (CHAVES *et al.*, 1997).

Nesse sentido, torna-se de extrema importância proteger faixas maiores do que aquelas previstas no Código Florestal (BRASIL, 2012), visto que dependendo do uso que se dá à terra à montante dessas matas, sua eficiência de retenção pode ser alterada. Chaves *et al.* (1997) destacam que quanto maior a quantidade de sedimento gerada numa vertente, menor a eficiência de retenção de sedimentos de uma determinada largura de mata ripária.

II. Número-Curva - CN

De Araújo Neto *et al.* (2012) destacam que o método *Curve Number* ou Número-Curva (CN) tem sido largamente utilizado em modelos hidrológicos de bacias hidrográficas em todo o mundo. Trata-se de um método para a estimativa do escoamento superficial a partir de dados de solos e do tipo de cobertura e uso do solo. Este método foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (SCS-USDA) e tem sido utilizado no Brasil com frequência nas últimas décadas.

O escoamento superficial originado por uma chuva intensa sobre uma bacia hidrográfica é parte do ciclo hidrológico local, sendo produzido quando os componentes de recarga da bacia (interceptação e escoamento ao longo da vegetação, armazenamento no perfil do solo, percolação profunda que atinge o aquífero e armazenamento em depressões da superfície) são satisfeitos (WADT, 2003). Para o autor, o escoamento superficial e o processo de desagregação da estrutura do solo, produzidos pela gota da chuva, constituem dois principais fenômenos causadores da erosão hídrica.

O CN é um valor adimensional, tabelado, que varia de 0 a 100, conforme a capacidade de infiltração do solo, onde o limite inferior representa uma condição de solo com alta taxa de infiltração e pouco escoamento e o limite superior representa condições de solo de baixa infiltração e alto escoamento superficial (DE ARAÚJO NETO *et al.*, 2012).

A metodologia do SCS agrupa os solos dos Estados Unidos em quatro grandes grupos (A, B, C e D), conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento (SARTORI *et al.*, 2005). Sartori *et al.* (2005) fazem uma revisão sobre as iniciativas para a adequação da classificação hidrológica dos Estados Unidos às condições brasileiras. Nesse sentido, os autores propõem uma extensão para a classificação hidrológica dos solos para abarcar as classes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, utilizando a classificação proposta por Lombardi Neto *et al.* (1989).

Vetorazzi (2006) defende que uma das principais ameaças à qualidade da água, tanto superficial como subterrânea, é a poluição difusa, resultante principalmente do uso agrícola inadequado dos solos. A mudança no uso do solo, de uma cobertura original para cultivos agrícolas, aliada a práticas inadequadas de manejo, altera a relação entre escoamento superficial e infiltração da água das chuvas. Essa mudança acarreta em erosão do solo e carreamento de sedimentos em dimensões anormais, acelerando o processo de assoreamento de cursos d'água e alterando as características físicas e químicas da água, pela presença de sedimentos e elementos químicos provenientes de defensivos agrícolas.

Para Ruhoff (2007), a simulação dinâmica do escoamento superficial pode auxiliar no planejamento e gerenciamento de bacias de drenagem carentes de dados hidrológicos e sujeitas a constantes mudanças no uso e cobertura da terra. O autor destaca a utilidade do fator CN em trabalhos de conservação do solo, pois este permite a estimativa do escoamento superficial e informa indiretamente sobre o fluxo de rios, recarga de água, infiltração, umidade do solo e transporte de sedimentos.

III. Erodibilidade do Solo

As propriedades físicas e químicas dos diferentes tipos de solos geram efeitos distintos no processo de erosão, conferindo maior ou menor resistência à ação da água, mesmo em condições semelhantes de chuva, topografia e cobertura vegetal (BERTONI & LOMBARDI NETO, *apud* SARTORI, 2010). Sartori (2010) explica que a erodibilidade do solo é a suscetibilidade ou vulnerabilidade do solo à erosão, o que justifica uma diferença no processo erosivo, ainda que sob condições semelhantes.

Segundo Wischmeier & Mannering, citados por Valente (2005), a erodibilidade é uma propriedade complexa e inerente ao solo, dependente da combinação de fatores individuais de cada solo, especialmente dos fatores que determinam a velocidade de infiltração da água no perfil e aqueles que determinam a resistência à dispersão e ao

arraste de partículas durante a chuva e o escoamento superficial, sendo, portanto, importante na previsão das perdas de solo por erosão.

IV. Declividade

A declividade de encostas é um dos fatores que condiciona os processos erosivos, sendo um dos principais parâmetros considerados em metodologias de classificação da aptidão de uso das terras no Brasil (RAMALHO FILHO *et al.*, 1995& LEPSCH *et al.*, 1991, *apud* HADLICH, 2006). Para Hadlich (2006), solos desenvolvidos em áreas de elevada declividade tendem a ser pouco profundos e apresentar problemas de erosão em função da predominância do escoamento superficial sobre os processos de infiltração de água.

Áreas em maiores declividades estão mais sujeitas à erosão, podendo ser uma ameaça à conservação e à preservação florestal (ROSA *et al.*, 2000, *apud* SARTORI, 2010). Sartori (2010) explica que, em condições de uma cobertura vegetal inexistente ou ineficiente, esses solos mais declivosos podem ser causadores de deslizamentos, produzindo sedimentos que, juntamente com outros danos, podem afetar as áreas florestais que já alcançaram a estabilidade de sua estrutura interna, ou que caminham nesse sentido.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia hidrográfica do rio Descoberto está localizada na divisa entre o Distrito Federal e o estado de Goiás (Figura 1), entre as latitudes 15°30'0''S e 16°20'00''S e as longitudes 48°30'0''W e 48°0'0''W, e faz parte da Região Hidrográfica do Paraná.

A bacia tem uma área de 1.289,42 km² e abrange, no estado de Goiás, os municípios de Padre Bernardo, Águas Lindas de Goiás e Santo Antônio do Descoberto e, no Distrito Federal, as regiões administrativas Brasília, Gama, Taguatinga, Brazlândia, Ceilândia, Samambaia e Recanto das Emas.

O clima da Bacia, de acordo com a classificação climática Köppen – Gieger, é considerado predominantemente Aw - tropical com estação seca. A região possui duas estações bem definidas, com inverno bastante seco e período chuvoso concentrado no verão. Dados climáticos coletados para a Área de Proteção Ambiental (APA) do Descoberto, indicam que a precipitação média anual é de 1.400mm (MMA, 2014).

A Bacia do Descoberto está completamente inserida no Bioma Cerrado, e suas formações vegetais predominantes são Mata de Galeria, Cerrado típico, Vereda, Campo Limpo, Campo de Murundus, Campo Sujo e Campo Rupestre (MMA, 2014).

No trabalho de Teza (2008), encontra-se uma descrição do trajeto desenvolvido pelo Rio Descoberto até chegar ao Rio Corumbá, reproduzida a seguir: “O Rio Descoberto nasce a 1.300 metros de altitude, na região noroeste do Distrito Federal, desenvolvendo-se inicialmente nos contrafortes da Chapada da Veredinha no Planalto Central e seguindo na direção noroeste, após a confluência dos seus formadores: os córregos Capão da Onça e Bucanhão.

O Rio Descoberto flui posteriormente na direção sul, onde entra na região de remanso provocado pela construção da barragem. Para o lago, contribuem os Córregos Pulador e Olaria, que são próximos à cidade de Brazlândia, o Ribeirão Rodeador, o Capão Comprido e o Ribeirão das Pedras. Continuando o percurso na direção sul, o Rio Descoberto recebe contribuição dos Córregos Chapadinha, Bocaina e Dois Irmãos. Mais à frente, encontra seu principal afluente, o Rio Melchior, que possui no seu mesmo braço formador o Córrego Taguatinga. Seguindo ainda em direção ao Sul, encontra-se com o Rio Corumbá”.

Optou-se neste estudo por fazer uma análise de toda a Bacia do Rio Descoberto, desde a sua nascente, ainda na região administrativa de Brazlândia, até seu final, quando o rio Descoberto deságua no rio Corumbá (atualmente represado para a construção da Usina Hidrelétrica de Corumbá IV), pois, apesar de a captação de água para o Distrito Federal encontrar-se na altura do Lago Descoberto, o reservatório de Corumbá IV está sendo analisado para em breve tornar-se fonte de abastecimento público. Deste modo, faz-se de extrema importância a análise desta Bacia Hidrográfica como um todo. Porém, para um estudo mais detalhado, seria necessário a análise individual de cada uma de suas micro-bacias.

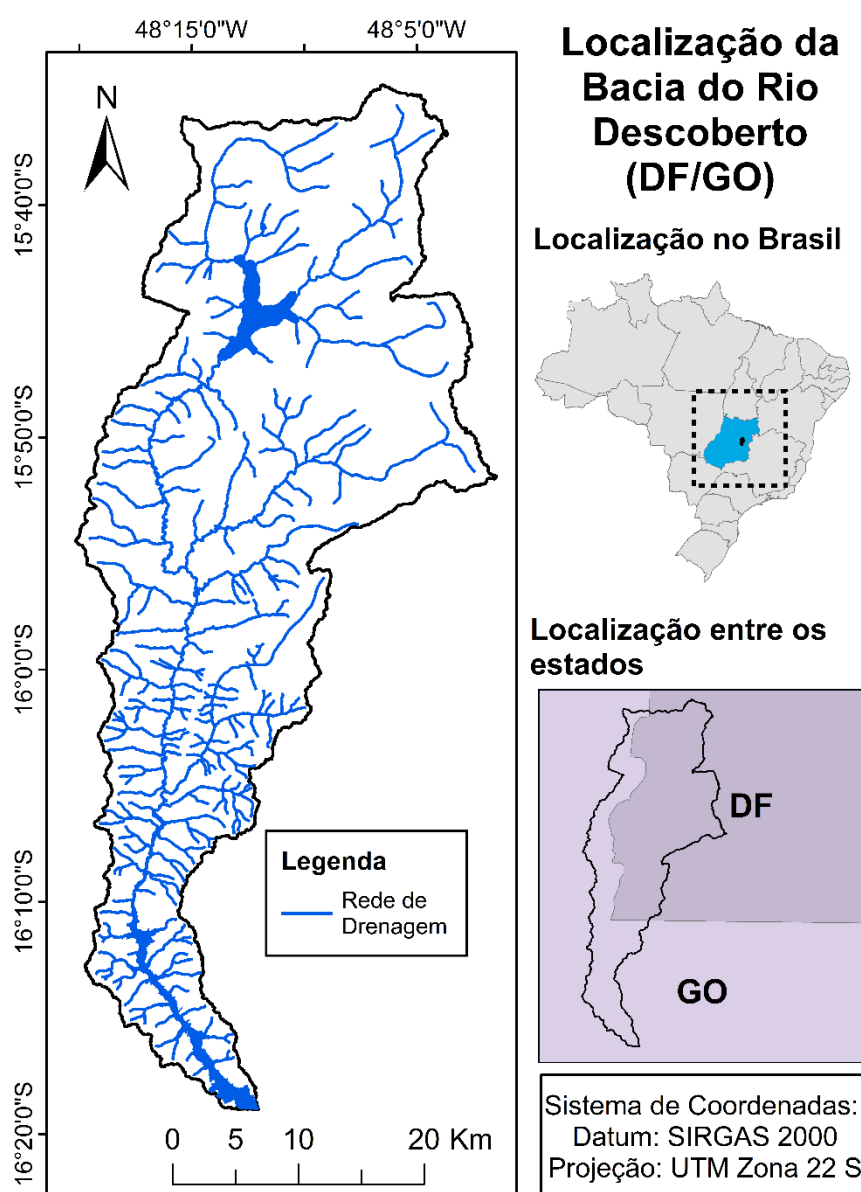


Figura 1: Localização da Bacia do Rio Descoberto

5.2 Base de dados

Este tópico aborda todos os dados necessários para a realização da análise proposta. Todo o processamento e análise de dados foi realizado no software ArcGIS 10.3. Foram utilizados dados em formato vetorial e matricial, os quais foram convertidos para o sistema de coordenadas geográficas WGS 1984, em projeção UTM zona 22 S.

5.2.1 Rede de Drenagem

A rede de drenagem (Figura 2) foi obtida a partir do “Mapa da Hidrografia do Estado de Goiás”, disponível no site do Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG. Esta rede de drenagem do SIEG foi gerada a partir do Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás, em escala 1:100.000 e datum SAD69.

Os contornos do Lago do Descoberto e do reservatório Corumbá IV, em formato vetorial, foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas.

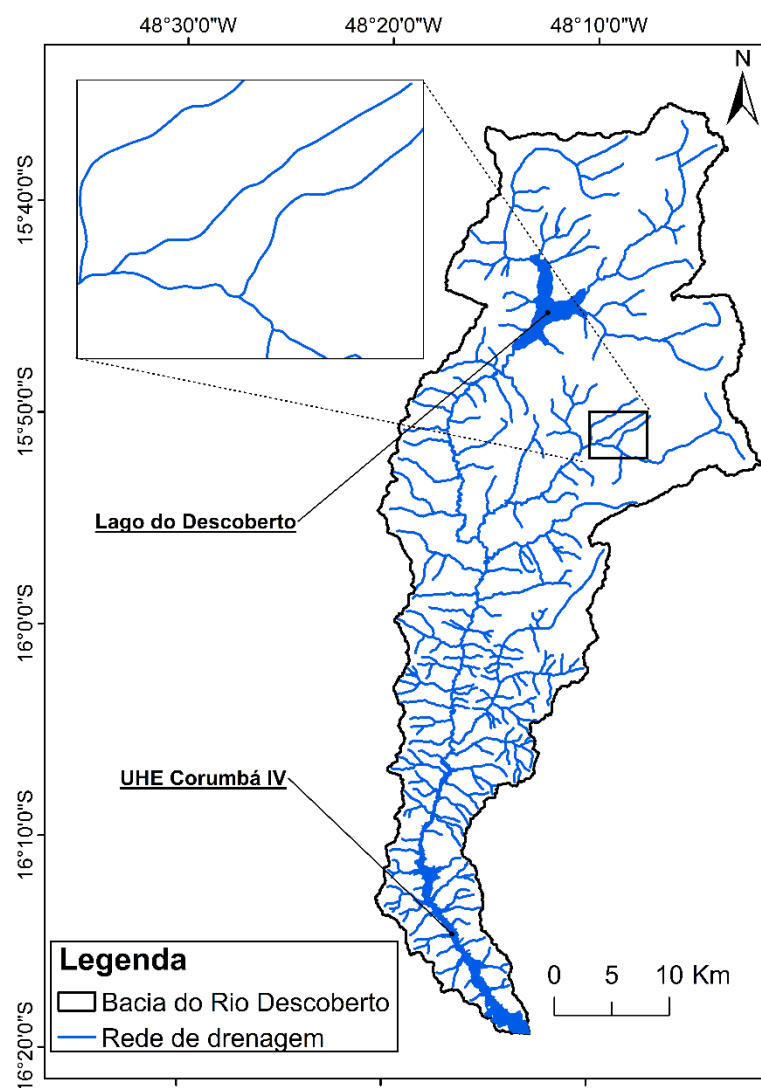


Figura 2: Rede de drenagem da Bacia do Rio Descoberto, indicando as localizações do Lago do Descoberto e do reservatório Corumbá IV.

5.2.2 Imagem LANDSAT

Imagem orbital obtida pelo sensor OLI (*Operational Land Imager*), que está a bordo do satélite LANDSAT 8 (Figura 3). Os arquivos foram obtidos no catálogo de imagens do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (www.dgi.inpe.br). As imagens foram obtidas em 21 de julho de 2016.

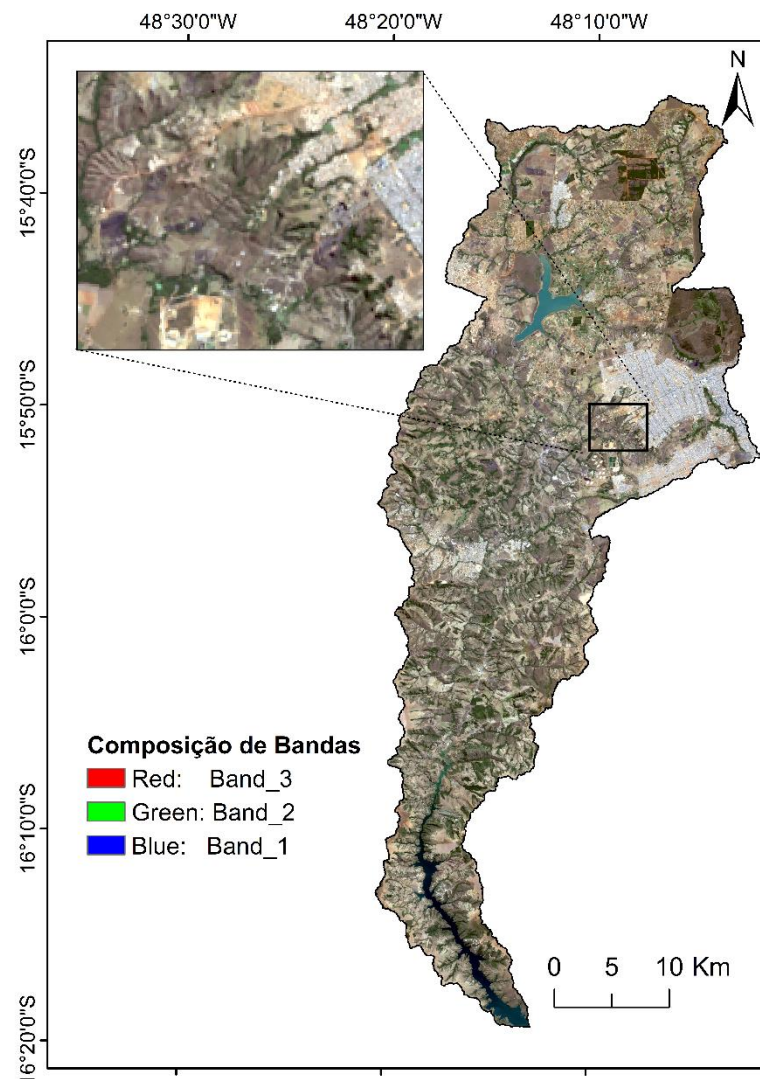


Figura 3: Imagem orbital obtida pelo Sensor OLI, a bordo do satélite LANDSAT 8 (RGB 321)

A imagem possui resolução espacial de 30 metros, ou seja, cada pixel representa uma área de 900m². Essa resolução não apresenta muitos detalhes, mas para o presente estudo é adequada, pois a análise da bacia será feita numa escala média, que abarca uma área grande.

5.2.3 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE utilizado foi obtido do projeto TOPODATA, que utiliza os dados gerados pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), mas os fornece de uma forma mais refinada, com resolução espacial de 30 metros (Figura 4).

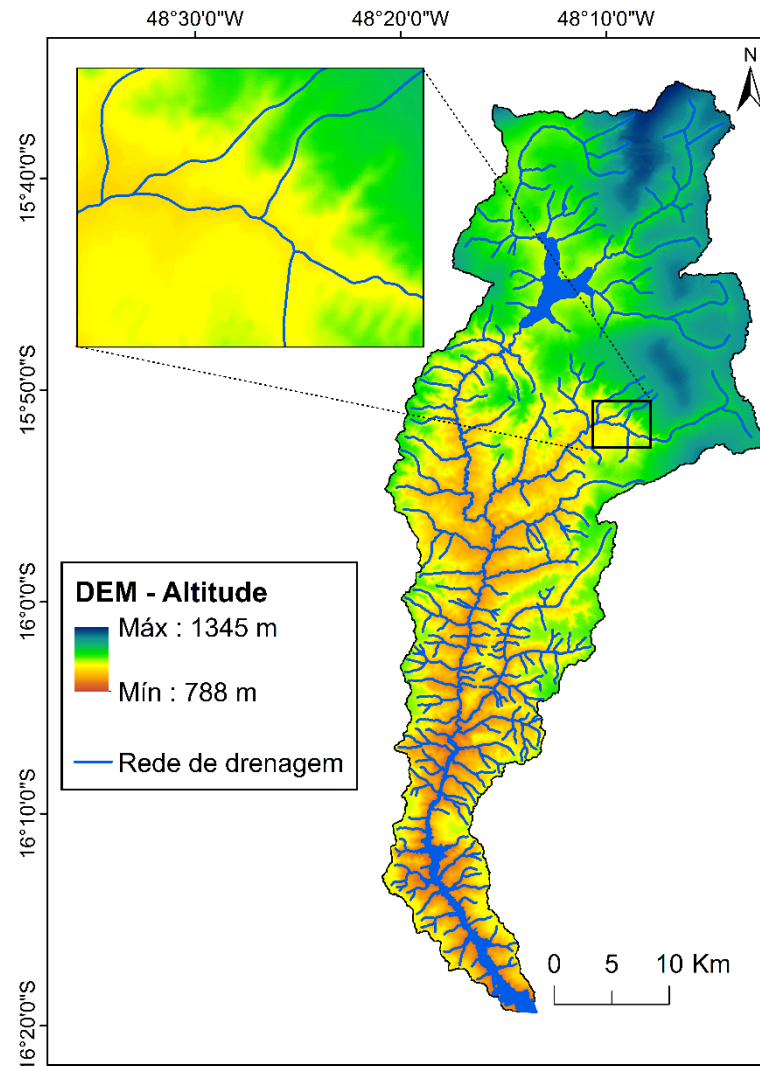


Figura 4: Modelo Digital de Elevação TOPODATA extraído para a Bacia do Rio Descoberto, com indicação da localização da rede de drenagem

5.2.4 Mapa de áreas urbanas

Os vetores de áreas urbanas foram obtidos do SIEG (Manchas urbanas – 2010) e foi realizada uma edição visual na tela do computador utilizando a imagem LANDSAT 8, em composição colorida (R/G/B 3/2/1), para abranger as novas ocupações (2010-2016) (Figura 5). A escala de digitalização variou entre 1:30.000 e 1:100.000.

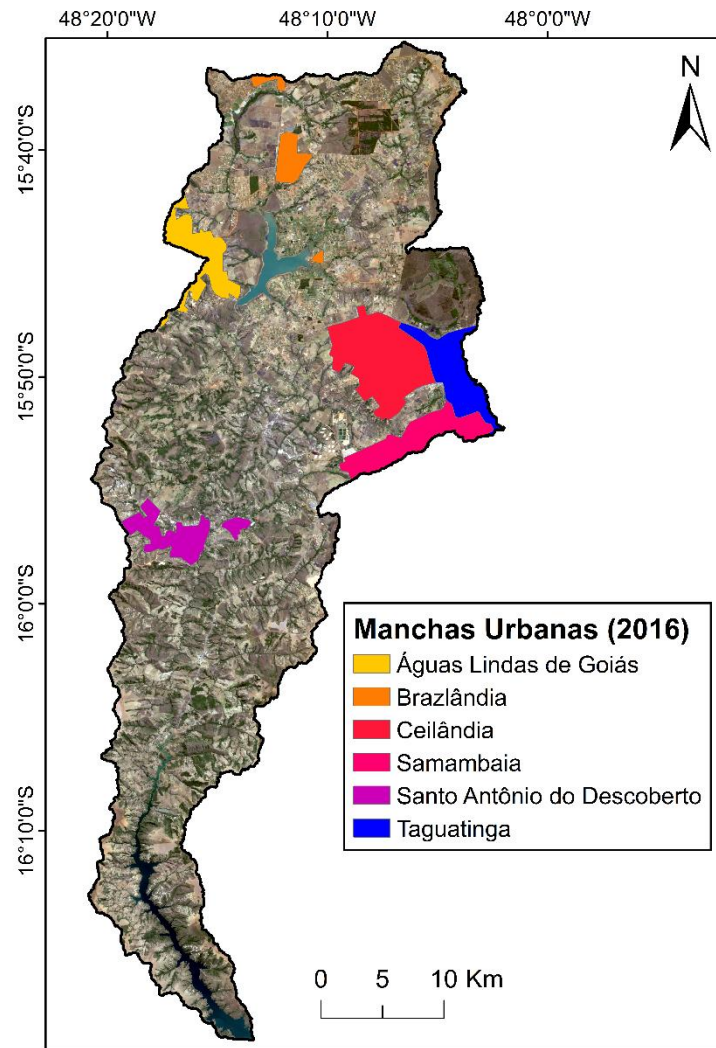


Figura 5: Localização das áreas urbanas na Bacia do Rio Descoberto (Adaptado de SIEG, 2010)

5.2.5 Mapa de solos

Mapa de solos em formato vetorial, gerado em escala 1: 250.000. Foi produzido no âmbito do Plano diretor da Bacia do Rio Paranaíba em Goiás e foi obtido no SIEG (Figura 6).

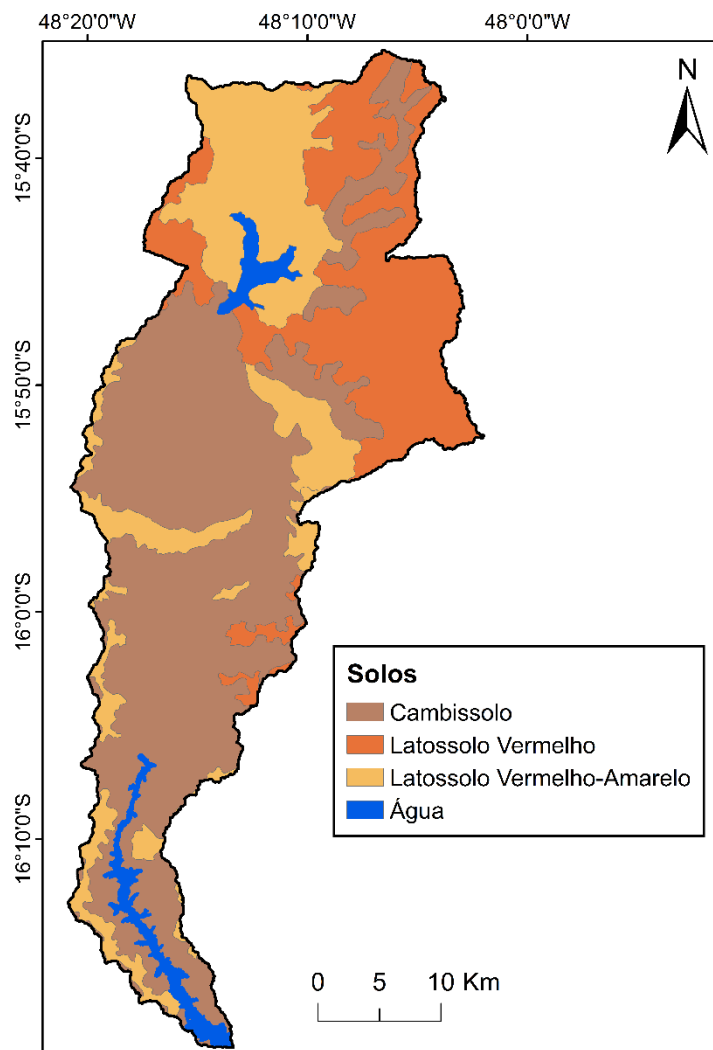


Figura 6: Mapa de solos da Bacia do Rio Descoberto

5.3 Metodologia

5.3.1 Limite da bacia hidrográfica

Primeiramente foi feito o delineamento automático da bacia hidrográfica, utilizando a extensão Arc Hydro Tools para o software ArcGIS®, ambos versão 10.3. O dado de entrada exigido é um modelo digital de elevação - MDE, que é um arquivo no formato raster contendo um valor de atitude para cada pixel.

Para a delimitação da bacia a partir do MDE TOPODATA, foi necessário seguir uma série de procedimentos no MDE, visando adequá-lo à modelagem espacial. Para a área da bacia, foram necessárias duas folhas do MDE TOPODATA: 15S495ZN e 16S495ZN. Através da ferramenta “*Image Analysis*” (*Windows->Image Analysis*), gerou-se um mosaico temporário dessas duas folhas. Este mosaico foi exportado em formato raster (.tif), atribuindo-se valor zero para os campos onde não havia dados.

Por meio da ferramenta “*Define Projection*” (*Arctoolbox ->Data Management Tools-> Projections and Transformations -> Define Projection*), definiu-se a projeção geográfica para WGS 1984. Gerou-se, com “*Copy raster*”(Arctoolbox ->Data Management Tools-> Raster -> Raster Dataset -> Copy Raster) , uma cópia do mosaico, mas atribuiu-se valores inteiros aos pixels, com profundidade de cor de 16 bits. Com “*Project*” (*Arctoolbox ->Data Management Tools-> Projections and Transformations -> Raster -> Project Raster*), definiu-se a projeção cartográfica para UTM, zona 22 Sul, acertando o valor do pixel para 30 metros.

Para a delimitação da bacia hidrográfica, foi realizada a seguinte sequência de procedimentos no ArcGIS com o Arc Hydro Tools, a partir do MDE corrigido: “*Fill Sinks*”, “*Flow Direction*”, “*Flow Accumulation*”, “*Stream Definition*”, “*Stream Segmentation*”, “*Catchment Grid Delineation*”, “*Catchment Polygon Processing*”, “*Drainage Line Processing*”, “*Adjoint Catchment Processing*”, “*Drainage Point Processing*”, “*Batch Point Generation*” e, por fim, “*Watershed delineation*”.

Este procedimento gerou, além dos limites da bacia hidrográfica, a delimitação da rede de drenagem. Apesar disso, optou-se por utilizar a rede de drenagem disponibilizada no SIEG e os vetores dos lagos, por melhor se adequarem à região. Após a obtenção da rede de drenagem, esta foi projetada para projeção geográfica WGS 1984, em projeção cartográfica UTM (zona 22S) seguindo: *Arctoolbox ->Data Management Tools-> Projections and Transformations -> Project*. Após este procedimento, realizou-se um corte (“*Clip*”), para obter apenas a rede de drenagem da

bacia hidrográfica do rio Descoberto, utilizando-se o limite da bacia hidrográfica gerado anteriormente.

5.3.2 Geração do mapa de uso e cobertura do solo

Para a geração do mapa de uso da terra da bacia do rio Descoberto foi realizada a classificação supervisionada da imagem do sensor OLI (LANDSAT 8). Primeiramente, foi feito o empilhamento das bandas, por meio do “*Composite Bands*” (*Arctoolbox* -> *Data Management Tools* -> *Raster* -> *Raster processing* -> *Composite Bands*). Foram utilizadas as bandas 2 até 7. Após o empilhamento, o raster, na composição RGB 321 (*True Color*), foi projetado para WGS 1984, UTM 22S.

Foram criados aproximadamente 12 polígonos para cada tipo de uso, os quais foram utilizados como amostras para a geração da assinatura espectral de cada classe de uso. Meneses (2012) defende que há dois parâmetros de análise em sensoriamento remoto para reconhecer objetos e fazer distinção entre objetos diferentes: pode-se utilizar as diferenças nos níveis de reflectância entre os materiais num determinado comprimento de onda, ou utilizar as assinaturas espectrais, que são feições de absorções da radiação eletromagnética que identificam um tipo de material, pois elas ocorrem com formas e intensidades próprias, dependendo unicamente da composição do material.

A cada polígono criado foi atribuído um código numérico, o qual representa a classe a que o polígono pertence. Foram utilizadas as classes descritas na tabela abaixo. A seguir, foi gerado um arquivo de assinaturas espectrais para cada classe de interesse, por meio da ferramenta “*Create Signatures*” (*Spatial Analyst Tools* -> *Multivariate* -> *Create signatures*).

Tabela 1: Códigos atribuídos aos tipos de uso de solo

Id Uso da Terra	
1	Corpo de água
2	Mata Nativa
3	Floresta plantada
4	Cerrado
5	Campo/ Pastagem

- 6 Solo exposto
 - 7 Cultivo agrícola
 - 8 Área urbana
-

Com o arquivo de assinaturas espectrais para cada classe de interesse, a classificação da imagem foi realizada pelo método de Máxima-Verossimilhança, por meio da ferramenta “*Maximum Likelihood Classification*” (*Spatial Analyst Tools -> Multivariate -> Maximum Likelihood Classification*). Segundo Meneses (2012), o classificador por Máxima Verossimilhança considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

O classificador por Máxima Verossimilhança assume que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica (INPE 2008, *apud* MENESES, 2012). Meneses (2012) considera este classificador como eficiente, pois utiliza as classes de treinamento para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe.

Por fim, foi utilizado o filtro de maioria no arquivo para melhorar o mapeamento (*Spatial Analyst Tools -> Generalization -> Majority Filter*). Esta ferramenta realiza uma “limpeza” de pixels que possivelmente tenham sido classificados de forma equivocada, reposicionando as células no raster de acordo com a maioria de células vizinhas.

5.3.3 Análise de áreas de preservação permanente

Neste trabalho, foram analisadas as Áreas de Preservação Permanente diretamente relacionadas aos recursos hídricos, no caso, as faixas marginais de cursos d’água, as áreas no entorno de reservatórios d’água artificiais (Lago Descoberto e UHE Corumbá IV) e as áreas no entorno de nascentes e olhos d’água perenes. Por conta da resolução da imagem utilizada, não foi possível identificar áreas brejosas para a caracterização de APPs de Veredas. Na tabela abaixo estão descritas as faixas que devem ser protegidas, de acordo com o tipo de APP identificado.

Tabela 2: Tipos de áreas de preservação permanente analisadas e suas respectivas metragens.

Tipo de Área de Preservação Permanente	Tamanho
Curso d'água (inferior a 10 metros de largura)	30 metros
Nascente	Raio de 50 metros
UHE Corumbá IV ¹	100 metros
Lago Descoberto ²	125 metros

Para a estimativa das áreas de preservação permanente exigidas em lei, foi utilizada a ferramenta “*Buffer*”, disponível no Arctoolbox do ArcGIS. A operação gera um “mapa de distâncias”, que, segundo Câmara *et al.* (2001), é um mapa contendo as distâncias de cada ponto do mapa a um objeto geográfico de referência.

Foi gerado um *buffer* ao redor da rede de drenagem, de acordo com o tipo da APP. Com o *buffer* gerado, foi possível extrair do mapa de uso do solo apenas as áreas de APP. Desse modo, comparou-se o uso do solo atual com o previsto em lei, e assim, foram quantificadas as APPs a serem restauradas.

5.3.4 Análise multicritérios

A análise multicritérios envolve uma série de pequenos passos, detalhados na Figura 7 abaixo, como a geração de uma imagem para cada fator analisado, geração de uma imagem contendo as restrições, a padronização de cada mapa para que todos estejam numa base comum (no caso foram classificados em 3 níveis de prioridade), para finalmente realizar a soma dos fatores e obter o mapa final de áreas prioritárias. Cada procedimento mencionado na Figura 7 foi detalhado nos tópicos abaixo.

¹ Definida no Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais – PACUERA da Corumbá IV, aprovado pelo IBAMA

² Definida na IN 01/1988

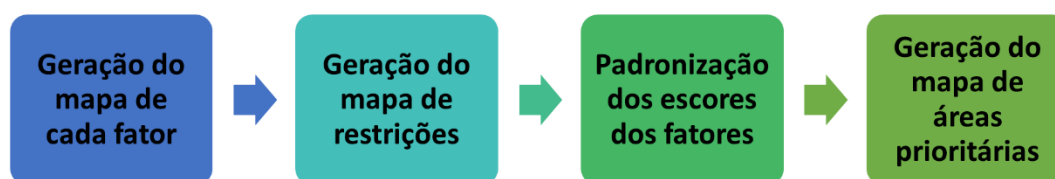


Figura 7: Fluxograma dos passos seguidos para a análise multicritérios.

5.3.4.1 Fator Distância à rede de drenagem

Para a elaboração desse mapa de fator foi utilizada a função “*Euclidean Distance*” (*Arctoolbox -> Spatial Analyst Tools-> Distance -> Euclidean Distance*) sobre a rede de drenagem. A função utiliza o teorema de Pitágoras para calcular a distância entre dois pontos, de modo que a distância seja representada pela hipotenusa.

5.3.4.2 Fator Número-Curva (CN)

Utilizando o mapa de solos obtido no SIEG, realizou-se uma comparação do tipo de solo com os Grupos Hidrológicos de Solos - GHS, segundo a tabela proposta por Sartori (2004 *apud* SARTORI *et al.*, 2005). Atribuiu-se para cada tipo de solo, uma letra, de acordo com o GHS a que pertence (Tabela 3 e Figura 8).

Tabela 3: Descrição dos grupos hidrológicos de solo de acordo com Sartori (2004, *apud* SARTORI *et al.*, 2005), bem como os tipos de solos correspondentes.

Grupo (GHS)	Descrição do Grupo Hidrológico	Tipos de solos incluídos
A	<ul style="list-style-type: none"> Solos muito profundos (prof. > 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm); Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; Solos porosos com baixo gradiente textural (< 1,20); Solos de textura média; Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil; Solos bem drenados ou excessivamente drenados; Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1; A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/ argilosa e muito argilosa/muito argilosa. 	Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos

D

- Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
- Solos rasos (prof. < 50 cm);
- Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- Solos orgânicos.

Cambissolos

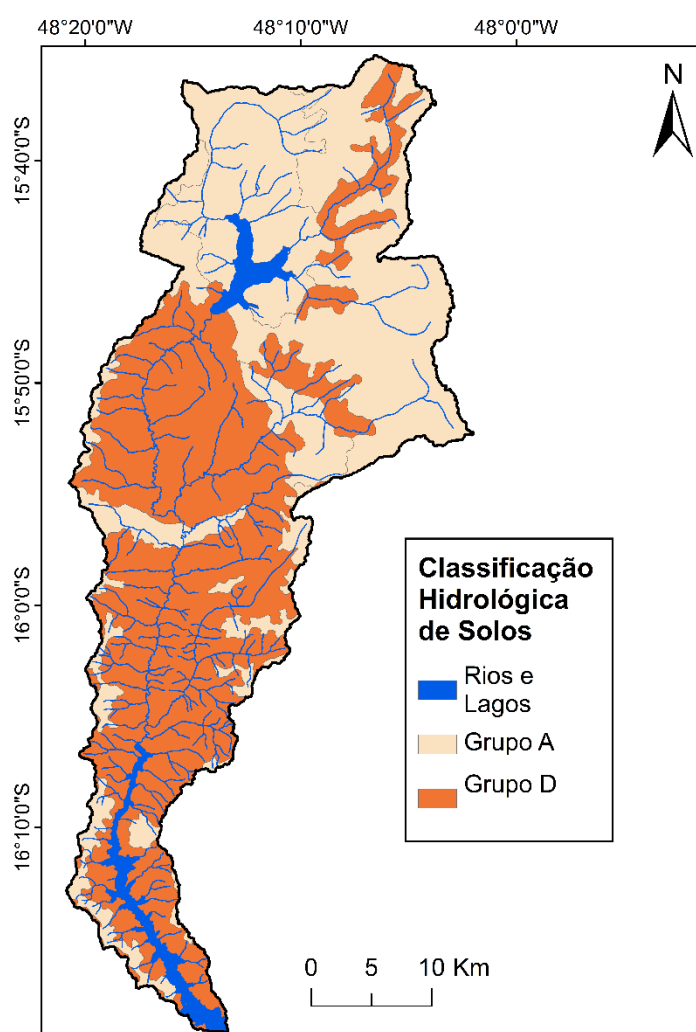


Figura 8: Classificação hidrológica dos solos da Bacia do Rio Descoberto

A partir de uma intersecção entre o mapa de grupos hidrológicos de solos (Figura 8) e o mapa de uso do solo, foi possível atribuir os valores de CN, tabelados para cada

tipo de uso e grupo hidrológico de solo (Tabela 4). Os valores de CN foram adaptados do estudo do NRCS (USDA, 1972).

Tabela 4: Valores tabelados de Número-Curva (CN) de acordo com o tipo de uso do solo e com o grupo hidrológico a que o solo pertence.

Uso do Solo	Grupo Hidrológico de Solo	
	A	D
Corpo de água	0	0
Mata nativa	26	69
Floresta plantada	47	78
Cerrado	25	77
Campo/ Pastagem	28	81
Solo exposto	77	0
Cultivo agrícola	65	88
Área urbana	90	90

5.3.4.3 Fator Erodibilidade do Solo

A partir do mapa de solos, buscou-se na literatura os valores correspondentes de erodibilidade. Na Tabela abaixo estão descritos os valores correspondentes de K para cada tipo de solo, sendo que maiores valores de K indicam uma maior facilidade de desagregação das partículas do solo.

Tabela 5: Valores de erodibilidade para os diferentes tipos de solos encontrados na Bacia do Rio Descoberto.

Solo	K
Cambissolo	0,028
Latossolo Vermelho	0,012
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,014

Fonte: *Adaptado de Chaves & Piau, 2008*

5.3.4.4 Fator Declividade

O mapa de declividade foi gerado com base no Modelo Digital de Elevação, utilizando a ferramenta “*Slope*” do ArcGIS® (*Spatial Analyst tools -> Surface -> Slope*).

5.3.4.5 Mapa de Restrições

Foram consideradas como restrições aos objetivos deste trabalho as áreas urbanas e os lagos. Isto significa que o mapa final de áreas prioritárias considerou apenas o território que não englobasse essas feições.

5.3.4.6 Padronização dos escores dos fatores

Devido às diferentes escalas utilizadas na mensuração dos fatores, foi necessário realizar uma padronização entre os valores dos fatores, de modo que todos os mapas pudessem ser correlacionados. Para tanto, realizou-se uma classificação de cada um dos mapas, de acordo com a prioridade de intervenção ambiental (Tabela 6).

Tabela 6: Escores utilizados para reclassificar os mapas, de acordo com a fragilidade ambiental.

Fator	Escore 1	Escore 2	Escore 3
	(baixa prioridade)	(média prioridade)	(alta prioridade)
Distância à Rede de Drenagem	Distância maior que 1.000 metros	Distância entre 250 e 1000 metros	Distância menor que 250 metros
Número-Curva (CN)	CN < 50	50 < CN < 75	CN > 75
Erodibilidade (K)	K < 0,012	0,012 < K < 0,014	K > 0,014
Declividade	Decliv. < 3°	3° < Decliv. < 6°	Decliv. > 6°

5.3.4.7 Geração do mapa de áreas prioritárias

Utilizou-se a ferramenta “*Raster Calculator*” (*Arctoolbox -> Spatial Analyst Tools -> Map Algebra -> Raster Calculator*) para realizar a álgebra de mapas. O resultado de áreas prioritárias para ações de conservação foi obtido através da seguinte operação:

$$\textit{\textbf{Áreas prioritárias}} = \textit{\textbf{Fator 1}} + \textit{\textbf{Fator 2}} + \textit{\textbf{Fator 3}} + \textit{\textbf{Fator 4}}$$

Com este mapa, realizou-se uma operação condicional, para atribuir às áreas de restrição um valor nulo. Desta forma, o mapa final de áreas prioritárias não contém as áreas definidas como impróprias aos objetivos deste trabalho, as quais são as áreas urbanas e os dois lagos.

O mapa final de áreas prioritárias também não abarca as áreas de preservação permanente, visto que estas já são consideradas prioritárias e sua conservação é obrigatória, por lei. Deste modo, as áreas de preservação permanente serão analisadas separadamente.

Ao final, realizou-se uma comparação entre as áreas prioritárias e o mapa de uso do solo, para entender quais usos predominam em cada classe de área prioritária e assim analisar e recomendar possíveis soluções.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Uso e cobertura do solo

O mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Descoberto está apresentado na Figura 9. Para possibilitar uma análise quantitativa, os dados métricos das classes foram demonstrados na Tabela 7.

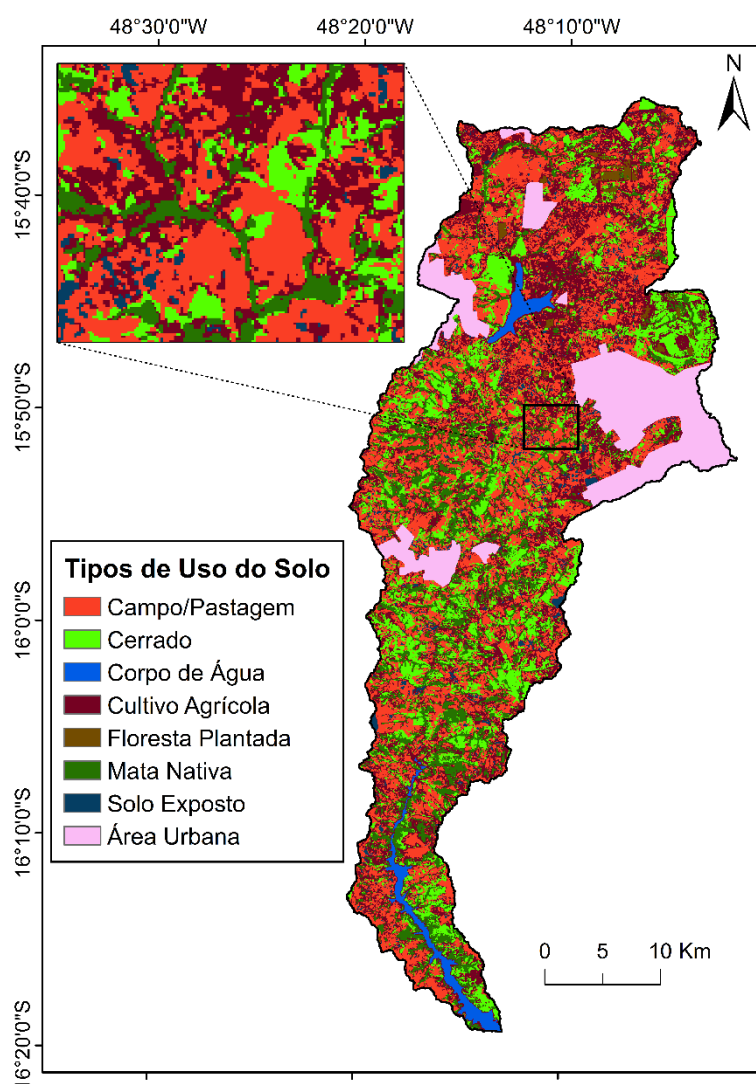


Figura 9: Mapa de uso do solo da Bacia do Rio Descoberto

Tabela 7: Classes de uso e suas respectivas áreas

Uso	Área (km ²)	Área (%)
Campo/Pastagem	377,59	29,28
Cultivo Agrícola	333,05	25,83
Cerrado	221,58	17,18
Mata Nativa	149,21	11,57
Área Urbana	144,19	11,18
Solo Exposto	27,22	2,11
Corpo de Água	24,03	1,86

Floresta Plantada	12,56	0,97
Total	1289,42	100,00

A partir da Figura 9 e da tabela 7, pode-se observar que na bacia do Rio Descoberto existe o predomínio de formações campestres e pastos. Essa classe de uso “Campo/Pastagem” foi a maior identificada e corresponde a 29,28% da área total da bacia. As formações vegetais identificadas como “Cerrado” correspondem a 17,18% da bacia, um total de 221,58 km². As “Matas Nativas” ocupam quase 150 km², que representam aproximadamente 11,6% da bacia. Juntas, essas formações naturais representam apenas 28,76%.

Hoffmann & Jackson (2000), ao estudarem a influência da conversão de áreas naturais de regiões savânicas para pastos e campos, concluíram que os padrões antrópicos de uso do solo têm o potencial para alterar o clima das regiões savânicas, principalmente reduzindo a precipitação e aumentando a temperatura. Em 4 das 5 situações simuladas, a precipitação reduziu aproximadamente 10% após a conversão de savana para pastagens.

Os autores destacam que apesar da precipitação média anual ter apresentado tendência a diminuir durante toda a estação chuvosa, sem uma mudança consistente na distribuição das chuvas durante a estação, essa diminuição geral da precipitação causaria um efetivo alongamento da estação seca pela diminuição da frequência das chuvas no início e no final da estação chuvosa, o que poderia aumentar a probabilidade e a intensidade de incêndios florestais (HOFFMANN & JACKSON, 2000). Para Hoffmann & Jackson (2000) o fogo é uma das formas mais primárias de distúrbio em formações savânicas e qualquer aumento em sua ocorrência teria um efeito negativo na densidade de árvores.

A segunda maior classe identificada na Bacia do Rio Descoberto foram os “Cultivos Agrícolas”, que cobrem 25,82% da área total da bacia. Araújo et al. (2011) destacam que os cultivos agrícolas na região do Alto Rio Descoberto (área à montante do Lago Descoberto) destinam-se principalmente ao cultivo de olerícolas.

O setor agrícola é o maior consumidor de água, sendo que a nível mundial consome cerca de 69% de toda água disponível (PAZ *et al.*, 2000). Além do alto consumo de água, outras formas de degradação dos recursos hídricos via setor agrícola

podem ser enumeradas, como o uso intensivo do solo, aliado a um manejo inadequado, potencializando processos de erosão e assoreamento dos cursos d'água, além do uso de agrotóxicos de maneira inadvertida, que é um dos mais sérios fatores de deterioração da qualidade dos recursos hídricos (AZEVEDO, s.d.).

Para De Oliveira-Filho & Lima (2002), os principais tipos de pressão sobre a fauna e a flora do Cerrado referem-se à conversão de áreas naturais em agrossistemas e à ampliação da área de influência urbana. Os autores relatam que as principais ameaças à biodiversidade do Cerrado estão relacionadas à três atividades econômicas: a monocultura intensiva de grãos, os investimentos em infra-estrutura (hidrovias, rodovias e ferrovias) e a pecuária extensiva de baixa tecnologia.

Observa-se que a bacia é predominantemente rural, pois as áreas urbanas não ocupam mais que 12% de toda a superfície. Apesar disso, percebe-se uma tendência à expansão dessas áreas urbanas. Teza (2008) fez uma correlação entre o aumento das áreas urbanas na bacia do Alto Rio Descoberto e a disponibilidade hídrica. O autor verificou redução na cobertura vegetal para toda a área de estudo, o que influencia na recarga dos aquíferos e dos lençóis freáticos.

Para Haughton & Hunter (*Apud* Teza, 2008), o desenvolvimento urbano frequentemente associa-se à substituição de ambientes naturais por ambientes construídos, onde realiza-se o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'água adjacentes. Essa substituição da cobertura diminui a capacidade de infiltração dos solos e aumenta o escoamento superficial, além disso, os corpos d'água tornam-se receptores de grandes cargas de poluentes, o que pode comprometer sua qualidade.

Do Carmo *et al.* (2005) realizaram uma análise da geoquímica das águas da bacia do rio Descoberto. Os autores verificaram que os resultados obtidos para as análises de alcalinidade, fosfato e amônia apresentaram-se acima da média de outros estudos realizados no DF, o que indica a influência de efluentes domésticos e torna explícito o possível comprometimento da qualidade do manancial.

Teza (2008) destaca que a região do Alto Descoberto está em estado de conflito de ocupação e uso: de um lado agricultores e o crescimento de parcelamentos de terra, de outro o crescimento urbano desenfreado e de outro o poder público, sob a forma de gestor do abastecimento público de água. O autor afirma a importância de ações que visem a

melhorar as condições ambientais da área, como projetos de recuperação da vegetação e a criação de um comitê de bacia, devido à sua alta relevância para a segurança hídrica da região.

Observou-se, portanto, que os tipos de uso do solo predominantes na Bacia do Rio Descoberto podem influenciar diretamente na quantidade e na qualidade de seus recursos hídricos, seja pelo alto consumo de água associado às culturas agrícolas, seja pela possível diminuição da precipitação anual média por conta da conversão de áreas naturais savânicas para pastos, ou ainda pela expansão das áreas urbanas que estão associadas à impermeabilização dos solos, aumento do escoamento superficial e geração de efluentes domésticos e sua posterior descarga nos cursos d'água.

6.2 Áreas de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) juntas representam um total de 59,23 km², o que corresponde a 4,6% da área total da bacia (Figura 10). Para compreender a situação atual das APPs, o limite das APPs foi extraído do mapa de uso do solo, conforme demonstrado na Figura 10.

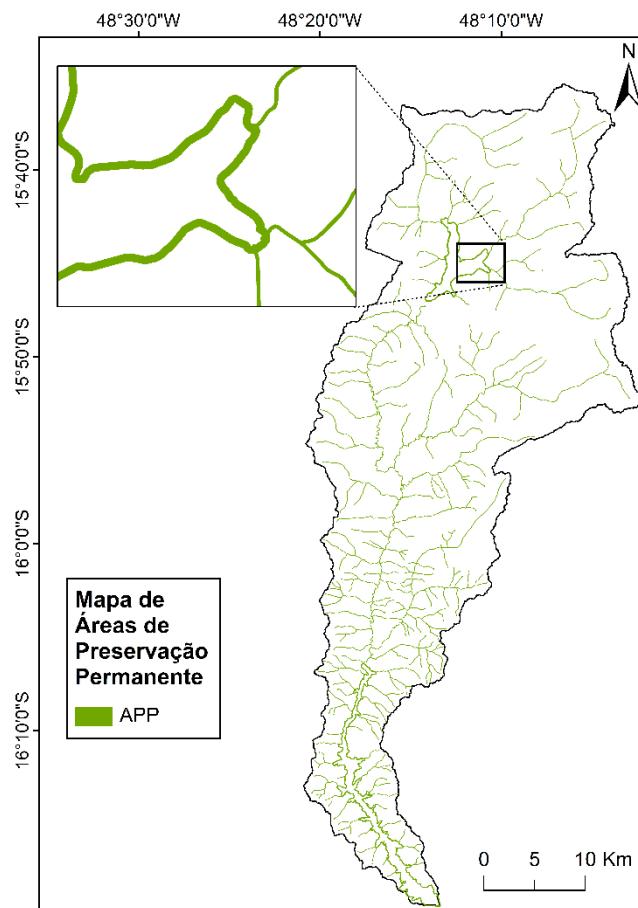


Figura 10: Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente na Bacia do Rio Descoberto.

A figura 11 demonstra as classes de uso do solo presentes nas Áreas de Preservação Permanente. Para facilitar a análise quantitativa, calculou-se a área de cada classe de uso identificada em área de preservação permanente, conforme demonstrado na tabela 8.

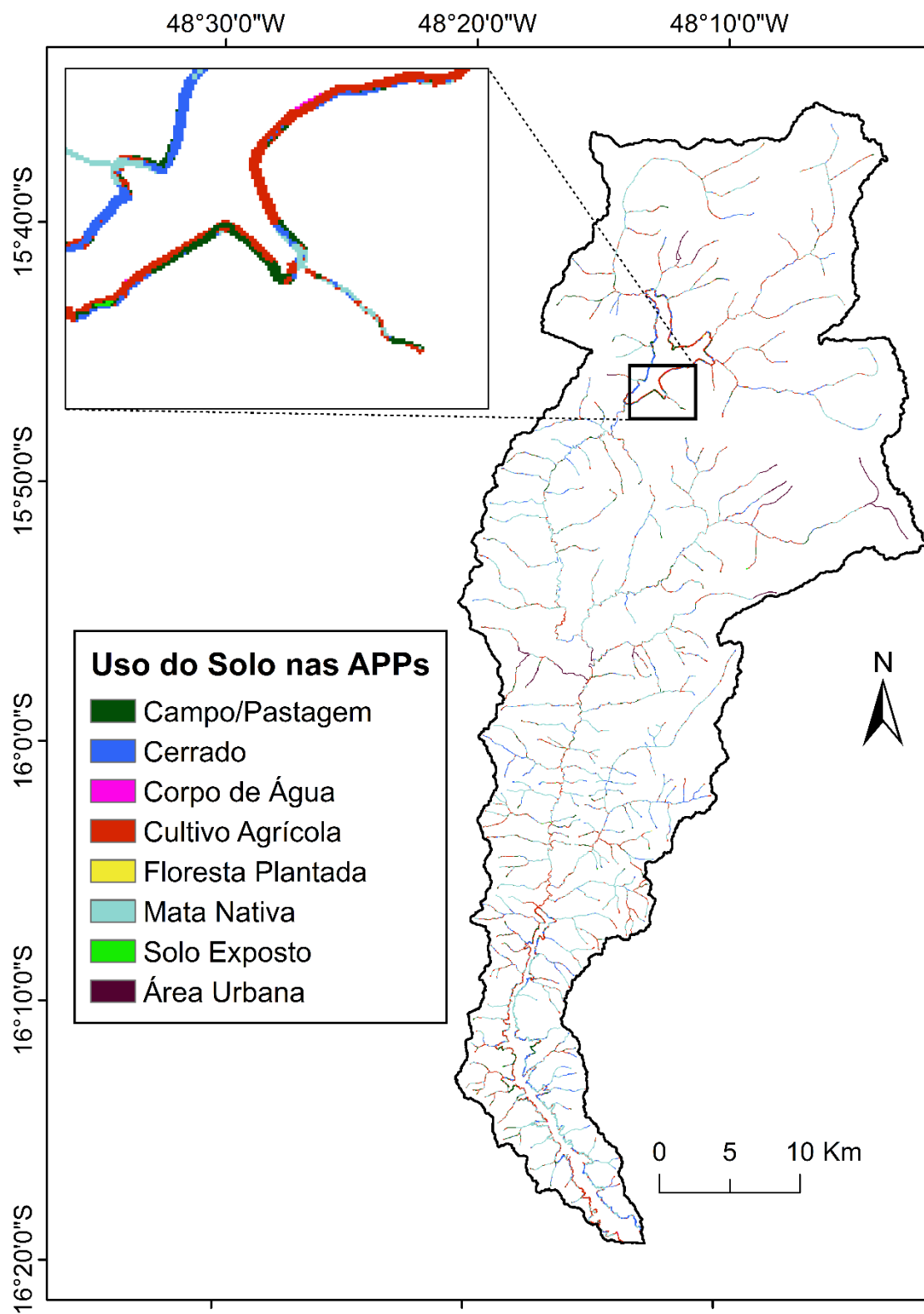


Figura 11: Uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente da Bacia do Rio Descoberto.

Tabela 8: Classes de uso identificadas nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) da Bacia do Rio Descoberto.

Classe de Uso	Área (km²)	Área (%)
Mata Nativa	25,38	42,85
Cultivo Agrícola	16,68	28,17
Cerrado	9,41	15,89
Campo/Pastagem	5,42	9,15
Área Urbana	1,95	3,29
Floresta Plantada	0,18	0,30
Solo Exposto	0,14	0,24
Corpo de Água	0,06	0,11
Total	59,23	100

As Matas Nativas, como as Matas de Galeria e as Matas Ciliares, ocupam a maior parte das APPs, correspondendo a 42,85% do total de APPs. Em segundo lugar, estão os cultivos agrícolas, identificados principalmente na região do entorno do Lago do Descoberto. Atualmente estão sendo aplicados projetos como o Descoberto Coberto, que visam à adequação das propriedades rurais à beira do lago, para que preservem e recuperem a vegetação da faixa destinada à proteção do lago.

Após identificar os usos predominantes nas áreas de preservação permanente, foi realizada uma classificação para a priorização da restauração dessas áreas, em função do tipo de uso do solo observado (Tabela 9).

Tabela 9: Reclassificação das APPs em 3 classes de prioridade de intervenção, definidas em função do tipo de uso observado.

Classe de Uso	Prioridade	Escore
Mata Nativa	Baixa	1
Cerrado		

Corpo de Água		
Campo/Pastagem	Média	2
Floresta Plantada		
Cultivo Agrícola	Alta	3
Área Urbana		
Solo Exposto		

A Figura 12 demonstra o mapa final em relação ao Fator Áreas de Preservação Permanente, após a reclassificação de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 9. Alguns usos em APP são considerados mais danosos ao meio ambiente, por isso, APPs com cobertura “Área Urbana”, “Solo Exposto” e “Cultivos Agrícolas” foram consideradas como críticas, e reclassificadas como de Alta Prioridade para os projetos de recuperação ambiental. As APPs que estão em Áreas Urbanas merecem uma atenção especial e um detalhamento mais apurado para a quantificação dos impactos que estão a ocorrer nessas áreas, inclusive com visitas a loco e testes para o monitoramento da quantidade e da qualidade da água.

As APPs cobertas com “Floresta Plantada” ou “Campo/pastagem” foram consideradas como de Média Prioridade de intervenção, pois têm alguma cobertura vegetal, mas ainda estão em desacordo com a lei. As APPs cobertas com Matas Nativas ou Cerrado foram consideradas preservadas, sendo apenas necessário medidas para manter essa preservação e incrementar a biodiversidade local, como o cercamento dessas áreas e o estímulo ao enriquecimento florístico. Desse modo, as APPs com este tipo de uso foram consideradas de baixa prioridade, juntamente com as áreas identificadas como Cursos d’água.

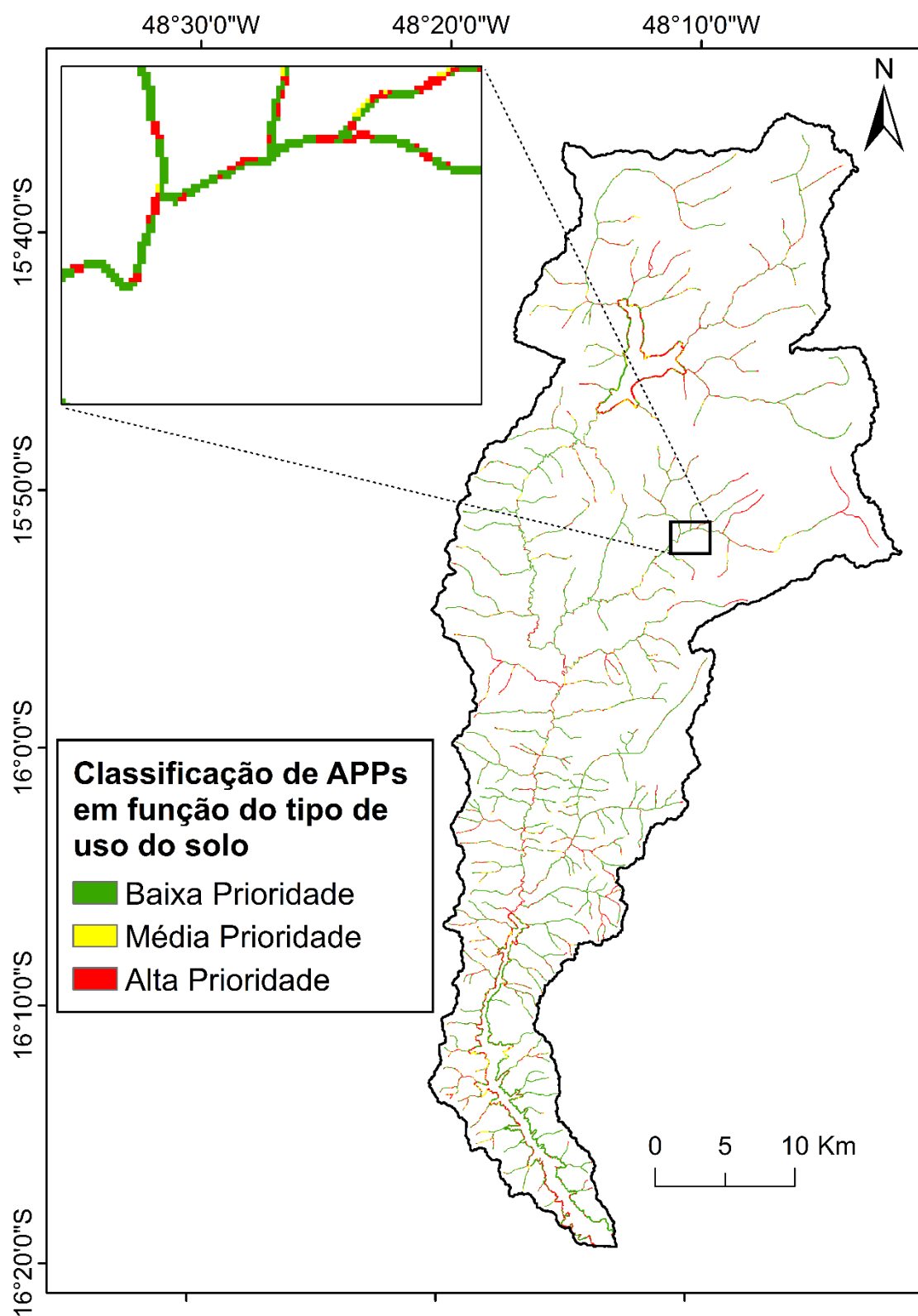


Figura 12: Reclassificação do mapa de áreas de preservação permanente, de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 9.

Pela tabela 10 abaixo, percebe-se que a maior parte das áreas de preservação permanente estão com coberturas nativas, sendo classificadas como de baixa prioridade de intervenção. Porém, as APPs consideradas de alta prioridade representam 31,7% do total.

Tabela 10: Quantificação das áreas de preservação permanente em cada classe de prioridade.

Prioridade	Área (km ²)	Área (%)
Baixa	34,85	58,84
Média	5,60	9,46
Alta	18,78	31,70
Total	59,23	100

Segundo o Código Florestal (BRASIL, 2012), todas as áreas de preservação permanente devem ser mantidas com cobertura vegetal nativa, admitindo-se o manejo agroflorestal sustentável caso este não prejudique as funções ecológicas nem descaracterize a vegetação nativa. Desse modo, observa-se que para a adequação ambiental da bacia, do ponto de vista legal, é necessário a realização de ações de recuperação ambiental em aproximadamente 41,16% do total de APPs, o que corresponde a uma área de 24,38 km² (ou 2.437,74 hectares).

Para Gênova *et al.* (2007, apud ALBUQUERQUE *et al.* 2010), a restauração de matas ripárias tem sido recomendada como a melhor estratégia visando à proteção dos recursos hídricos e à recuperação da biodiversidade. Segundo a Lei 9,985/2000 (BRASIL, 2000), a restauração é definida como “*restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original*”.

Para Albuquerque *et al.* (2010), a restauração ecológica é uma atividade intencional que inicia ou catalisa a recuperação dos ecossistemas, direcionando os processos naturais, sendo que seu sucesso está baseado no restabelecimento dos processos ecológicos responsáveis pela reconstrução gradual da floresta, e esse restabelecimento depende da presença de elevada diversidade de espécies regionais, envolvendo não só as árvores, mas também demais formas de vida vegetal, diferentes grupos da fauna e suas interações com a flora.

Existem diferentes sistemas de restauração que devem ser utilizados de acordo com o grau de degradação da mata ripária. Aquino *et al.* (2012) destacam dois sistemas de restauração: a regeneração natural, que consiste em deixar os processos naturais atuarem na área sem que haja o plantio de mudas e sementes, e a restauração induzida, que consiste em recompor o solo, semear, plantar mudas e realizar diversas ações para promover o retorno da vegetação nativa e dos animais.

Aquino *et al.* (2012) enumeram alguns passos iniciais a serem dados no caminho da restauração de matas ripárias. Primeiro, é necessário realizar o cercamento da área, para evitar a entrada de animais que possam compactar o solo ou até mesmo comer as plantas. Depois é necessário eliminar as causas da perturbação ou degradação, sejam fatores físicos ou químicos. Também é necessário fazer um aceiro na área, para evitar a entrada de fogo.

Os autores ainda recomendam a promoção da interligação de remanescentes naturais da vegetação, o controle de espécies invasoras, como o capim braquiária e o capim-gordura, a escolha e o plantio de espécies nativas de matas e o envolvimento da comunidade local no monitoramento da restauração (AQUINO *et al.*, 2012).

6.3 Análise Multicritérios

6.3.1 Fator I: Distância à rede de drenagem

A Bacia do Rio Descoberto é composta por muitos cursos d'água, de modo que a maior parte de sua área está sob influência de algum rio. A distância máxima encontrada de um curso d'água até a extremidade da bacia foi de 4,2 km, conforme demonstrado na Figura 13.

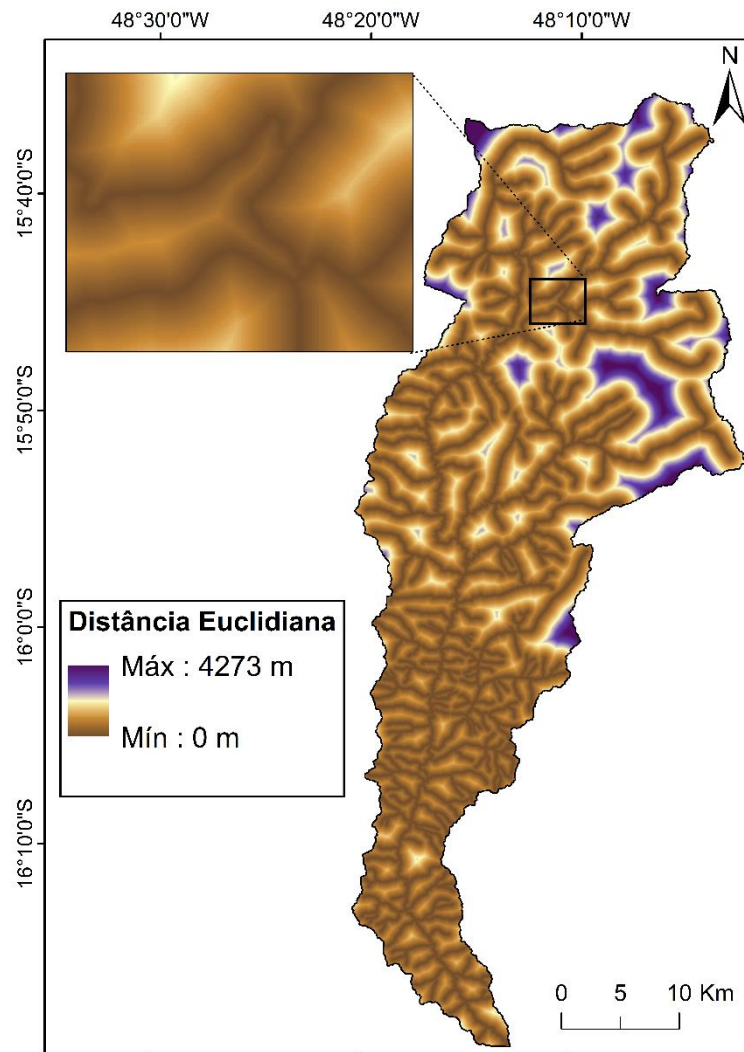


Figura 13: Distância euclidiana em relação à rede de drenagem.

Vetorazzi (2006) defende que, independentemente de sua distância à rede de drenagem, a cobertura florestal desempenha papel importante na geração de água de qualidade em uma bacia hidrográfica. Porém, essa importância, em geral, cresce à medida que a distância para o corpo d'água diminui.

Dessa forma, o mapa de distâncias à rede de drenagem foi reclassificado, atribuindo-se maior prioridade às áreas mais próximas (até 250 metros) e menor prioridade as áreas mais distantes (distância maior que 1.000 metros) à rede de drenagem (Figura 14).

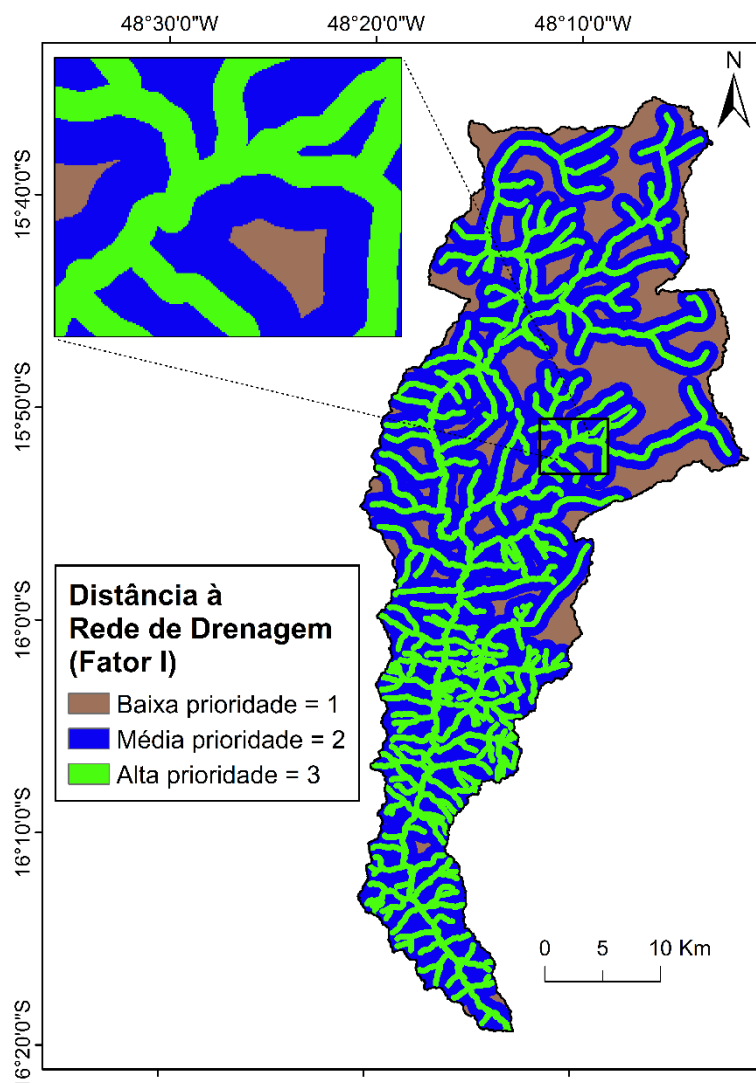


Figura 14: Reclassificação do mapa de distância à rede de drenagem, de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 6.

De acordo com a Tabela 11, 32,42% da área da Bacia do Rio Descoberto é de alta prioridade em relação à distância à rede de drenagem. Estas áreas possuem bastante relevância ambiental pois se localizam muito próximas aos rios, lagos e nascentes, tendo influência direta em seu ciclo hidrológico. O uso da terra nessas áreas pode afetar de modo significativo a qualidade e a quantidade da água na Bacia, por isso, o planejamento de uso da terra nessas regiões deve sempre levar em conta os fatores ambientais.

Tabela 11: Quantificação de áreas prioritárias para ações de conservação em relação à sua distância em relação à rede de drenagem.

Prioridade	Área (km ²)	Área (%)
Baixa	205,27	15,92

Média	666,08	51,66
Alta	418,08	32,42
Total	1289,42	100

6.3.2 Fator II: Número-Curva (CN)

A Figura 15 representa a Bacia do Rio Descoberto com valor de CN para cada pixel. Valores próximos de 100 indicam uma condição de alta impermeabilização do solo, o que gera um escoamento superficial maior. Esta situação foi identificada principalmente nas áreas urbanas, onde o fator CN atingiu o valor de 90.

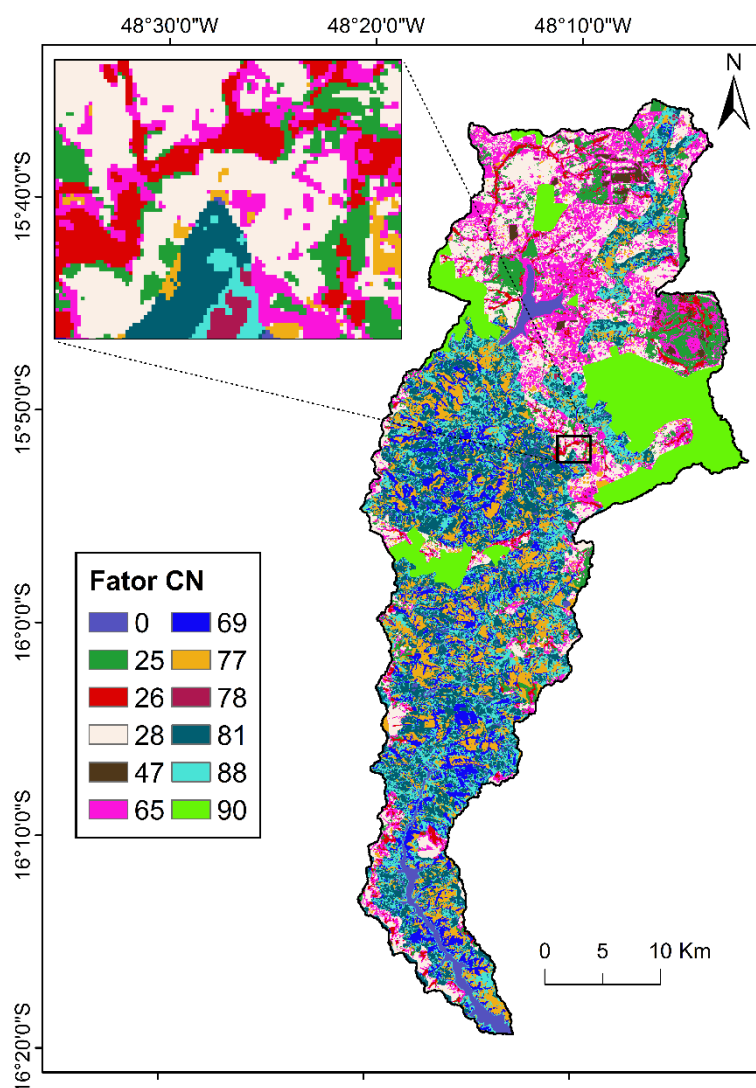


Figura 15: Espacialização do coeficiente CN na Bacia do Rio Descoberto, de acordo com o grupo hidrológico de solo e o tipo de uso do solo.

A figura 16 demonstra o mapa do Fator CN já reclassificado de acordo com a necessidade de intervenção ambiental, dada pelo grau de fragilidade em relação ao fator CN. As áreas com valores de CN inferiores a 50 foram classificadas como de baixa prioridade para ações de conservação, justamente por já apresentarem uma situação ambientalmente adequada. Esses valores, neste estudo, só foram atribuídos a ambientes com cobertura nativa, como Cerrado e Mata Nativa, e às florestas plantadas.

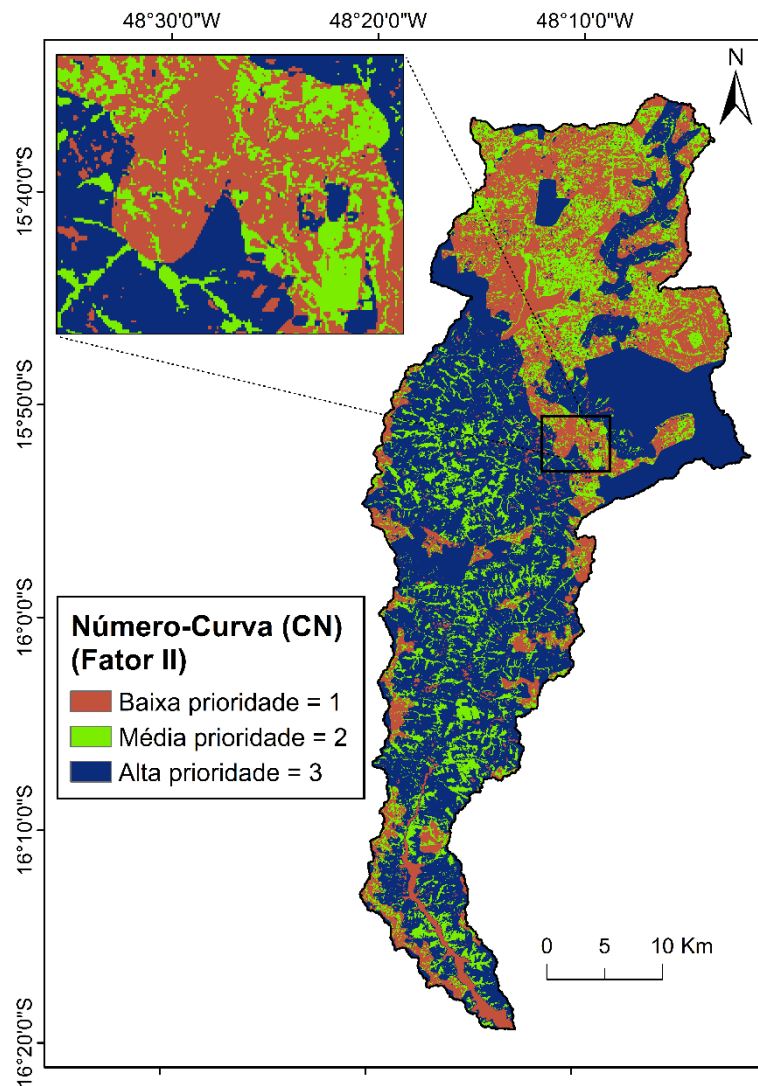


Figura 16: Reclassificação do mapa do Fator CN, de acordo com os critérios de priorização demonstrados na Tabela 7.

Áreas com CN superior à 75 são consideradas prioritárias pois contribuem significativamente para o aumento do escoamento superficial e para a redução da recarga da água subterrânea e da vazão de base (RAWLS et al., 1992). Além disso, a infiltração

da água no solo também fica prejudicada, visto que um alto valor de CN também indica condições de impermeabilização do solo.

Esse dado demonstra que a maior parte da bacia se encontra em estado crítico quanto ao fator CN, o que pode ser explicado pela grande presença de campos e pastos e também de cultivos agrícolas identificados no mapeamento dos usos, além das áreas urbanas, já mencionadas anteriormente.

6.3.3 Fator III: Erodibilidade

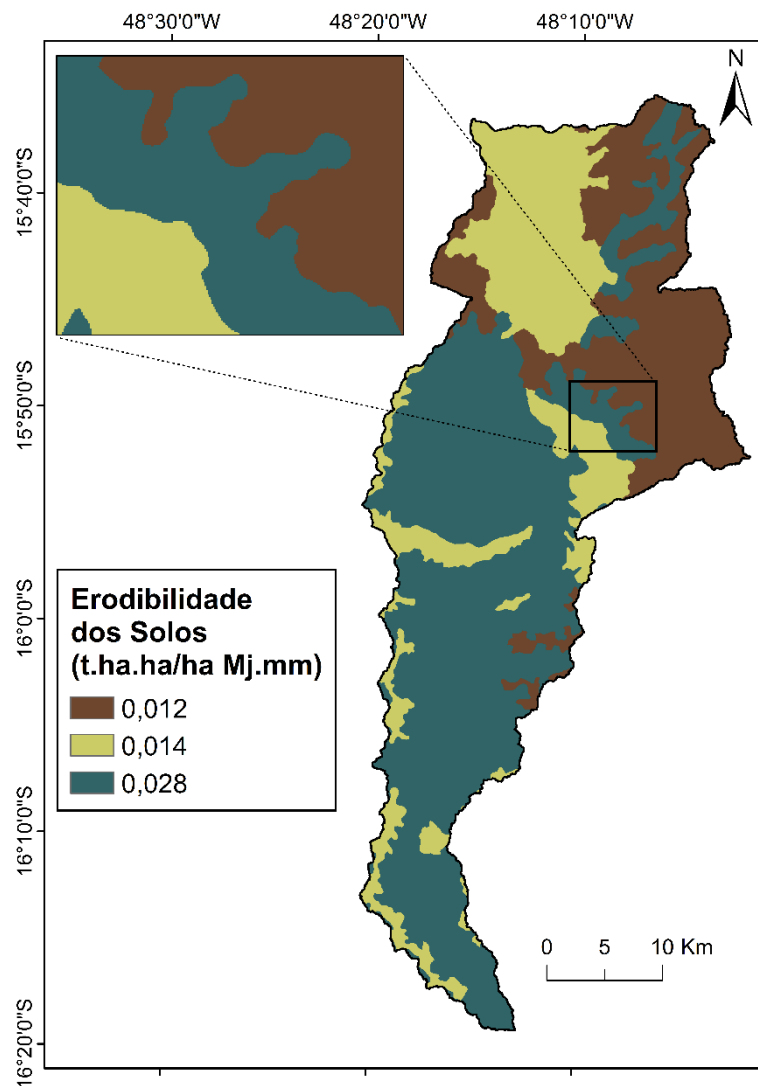


Figura 17: Valores de referência de erodibilidade aplicados aos solos identificados na Bacia do Rio Descoberto.

Os cambissolos ocupam a maior parte da bacia e têm um maior coeficiente de erodibilidade do que os latossolos. Segundo Sartori *et al.* (2005), os cambissolos

apresentam comportamento físico e textura média similar à dos latossolos, apresentando, porém, alta erodibilidade associada ao grande potencial de escoamento superficial.

Os latossolos possuem boa drenagem interna, característica associada à sua alta porosidade. Apresentam baixa erodibilidade associada a baixo potencial de escoamento superficial, mas quando submetidos à concentração d'água proveniente da ocupação antrópica, podem desenvolver ravinas profundas e até mesmo voçorocas (SARTORI *et al.*, 2005).

Silva *et al.* (2001) realizaram experimento para quantificar as perdas de solo de latossolos roxos e cambissolos, observando perdas menores no latossolo roxo e maiores no cambissolo. De acordo com os autores, a estrutura do cambissolo colabora para que o mesmo seja mais suscetível à erosão hídrica, sendo recomendado a adoção de práticas conservacionistas para a manutenção de sua sustentabilidade.

Na Figura 18 está demonstrada a classificação da erodibilidade em 3 classes, quando à sua prioridade no trato conservacionista. Para esta classificação, utilizou-se os limites dos três tipos de solo, diferenciando-os quanto ao seu potencial de sofrer erosão hídrica.

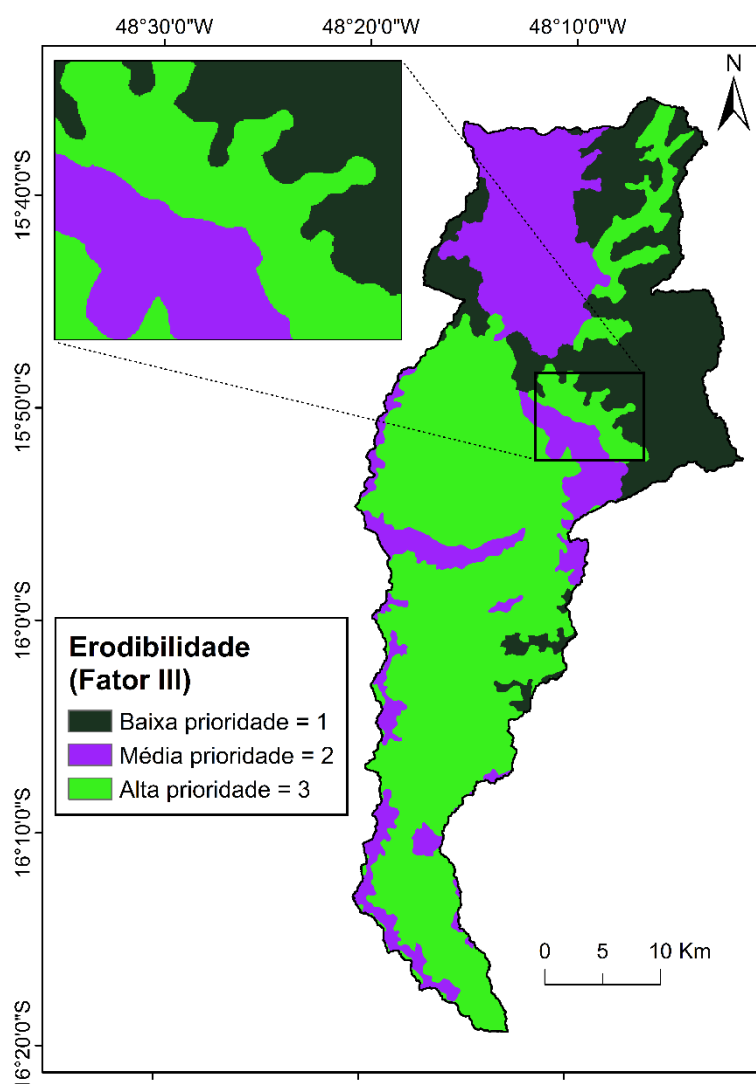


Figura 18: Reclassificação do mapa de erodibilidade dos solos, de acordo com os critérios demonstrados na Tabela 6.

6.3.4 Fator IV: Declividade

Cunha & Guerra (2003, *apud* MMA, 2014) destacam que o Distrito Federal está localizado no Planalto Central do Brasil, sendo caracterizado por extensos níveis planos a suave ondulados, denominados de regiões de chapadas, seguido por escarpas, níveis com alta declividade, que se estendem da base das chapadas até a região de morros residuais em direção aos vales.

No relevo da Bacia do Rio Descoberto, observa-se o predomínio de formas retilíneas planares a divergente retilínea, que são formas que promovem a dispersão dos fluxos superficiais e a formação de extensas rampas, sendo que são encontradas formas convergentes restritas às proximidades dos rios (MMA, 2014).

A declividade máxima encontrada na Bacia do Rio Descoberto foi de 31,5446° (Figura 19), porém a média da declividade ficou em aproximadamente 4,77°, com desvio padrão de 3,64°.

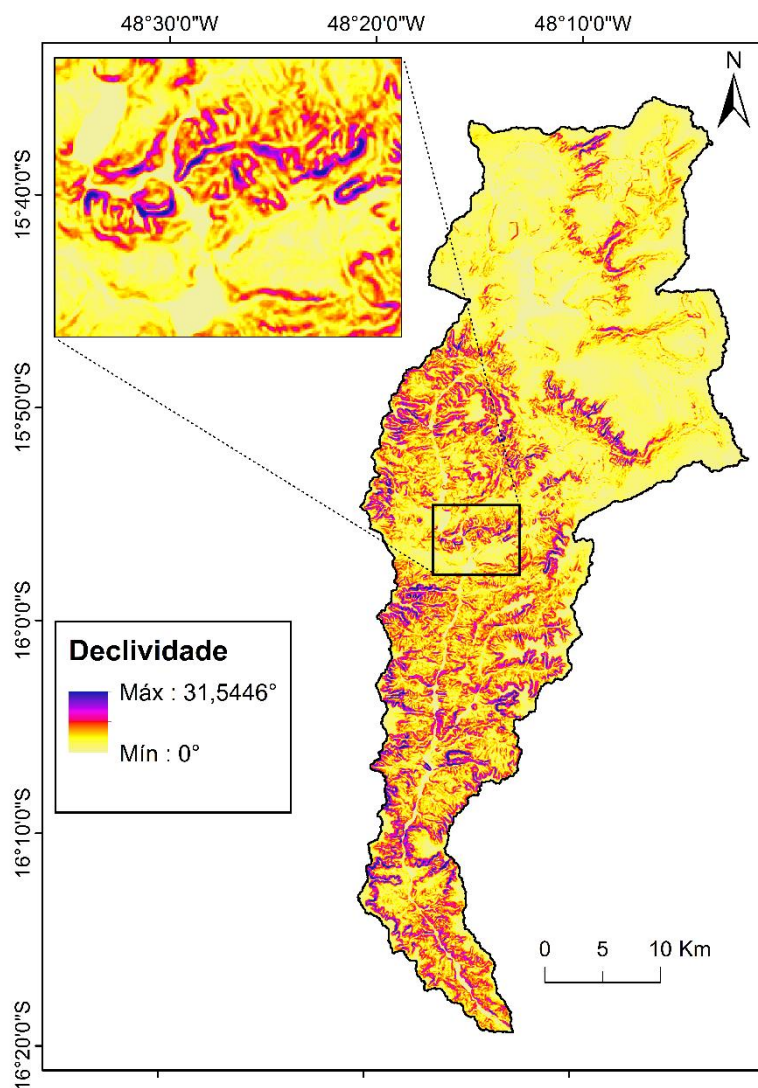


Figura 19: Mapa de declividade (em graus) da Bacia do Rio Descoberto.

O Plano de Manejo da APA Bacia do Rio Descoberto destaca que a região de chapadas elevadas (que na Figura 19 ocupam a região superior da bacia, em coloração amarelada), apresenta melhores condições de recarga e os principais reservatórios subterrâneos de água (MMA, 2014). Essas áreas compreendem terrenos com padrão de relevo plano a suave ondulado, recobertos principalmente com latossolos.

De Carvalho *et al.* (2008) destacam que no Bioma Cerrado, atividades como agricultura em larga escala são realizadas preferencialmente em relevos relativamente planos, em superfícies mais antigas com reduzido processo erosivo (ex: latossolo), além de uma declividade baixa e/ou moderada (inferior a 15°). Estas superfícies no Cerrado, conhecidas como Chapadões, estão localizadas em altitudes entre 700 e 1200 metros, oferecendo, além da topografia plana, outras condições favoráveis à agricultura, como temperaturas e precipitação regulares e solos desenvolvidos e bem drenados.

Desta forma, observa-se que as áreas mais planas são aquelas com maior aptidão agrícola, justamente por suas condições de solo e relevo. Porém, também por estes fatores naturais, estas áreas apresentam relevante importância para a recarga dos cursos d'água, sendo necessário o planejamento adequado, para que atividades como a agricultura e a pecuária não gerem impactos na manutenção dos recursos hídricos.

Os valores de declividade encontrados foram reclassificados em três classes, de acordo com o descrito na Tabela 6. O resultado da reclassificação está apresentado na figura abaixo (Figura 20).

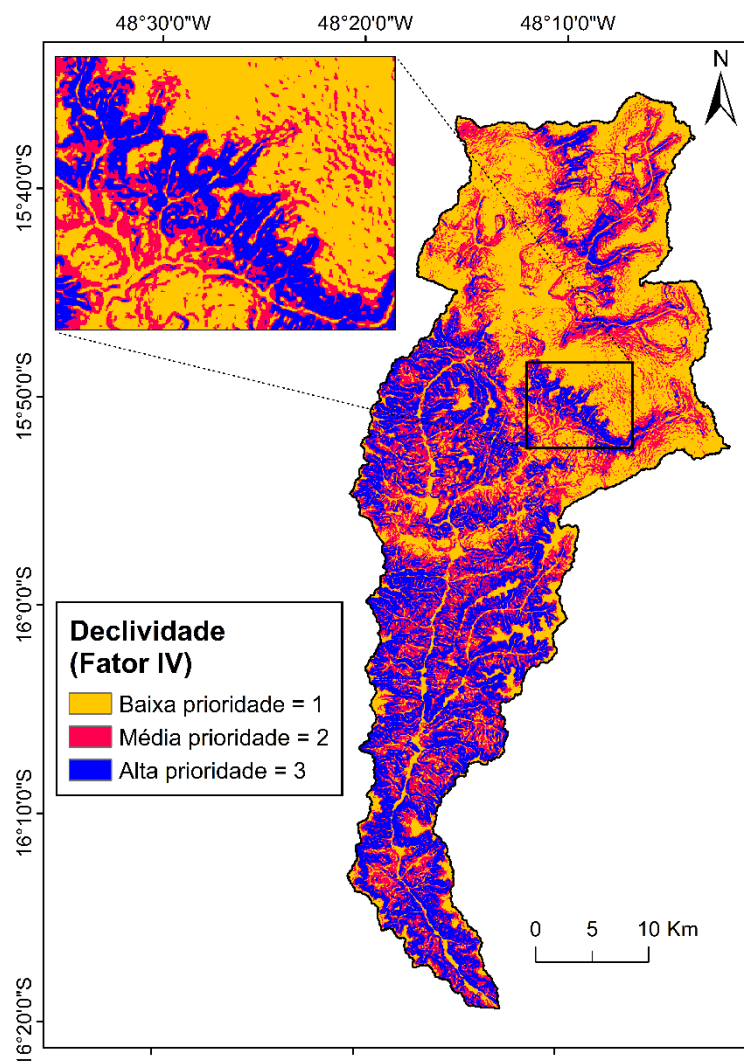


Figura 20: Reclassificação do mapa de declividade, de acordo com os critérios demonstrados na Tabela 6.

As áreas com declividade superior à 6° foram classificadas como de alta prioridade para ações de conservação, pois quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento superficial, e menor a velocidade de infiltração da água no solo. Desse modo, essas áreas têm relevante importância para a contenção de processos erosivos, principalmente quanto ao aspecto de transporte de sedimentos.

6.4 Mapa de restrições

Na produção do mapa de restrições, atribuiu-se valor 0 àquelas áreas inadequadas aos objetivos deste trabalho, que são as áreas urbanas e os lagos. As áreas urbanas foram desconsideradas pois estas merecem uma análise mais pontual, com visitas a campo para determinar o grau de impacto que estas estão a causar no ambiente natural. Os lagos são

restrições justamente por não ser possível aplicar técnicas de recuperação ou conservação de solo dentro da água.

Desta forma, fica demonstrada na Figura 21 as áreas consideradas adequadas aos objetivos desta análise.

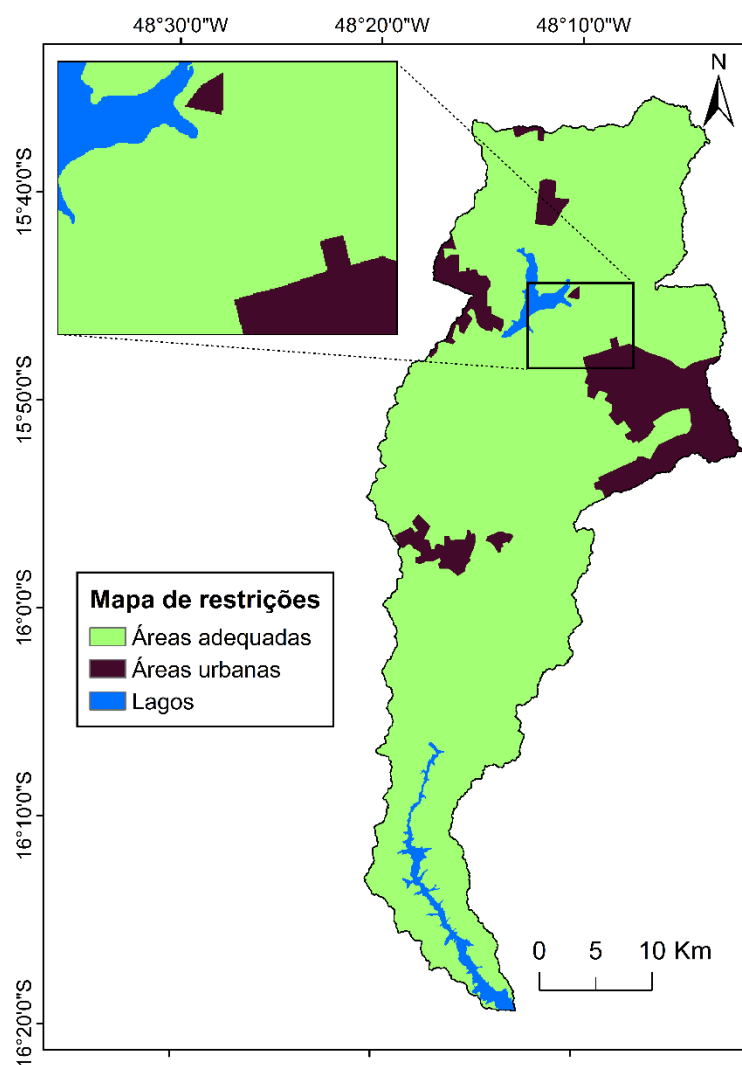


Figura 21: Mapa de restrições aos objetivos da análise multicritérios na Bacia do Rio Descoberto.

6.5 Áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto

Após a confecção dos mapas de cada um dos fatores, sua reclassificação e a desconsideração das áreas de restrições e das áreas de preservação permanente, chegou-se ao mapa de áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto, contendo escores de 4 a 12 (Figura 22).

Para uma melhor avaliação visual e quantitativa, as áreas prioritárias foram classificadas como de Alta prioridade, de Média prioridade ou de Baixa prioridade, como foi feito também com os outros fatores.

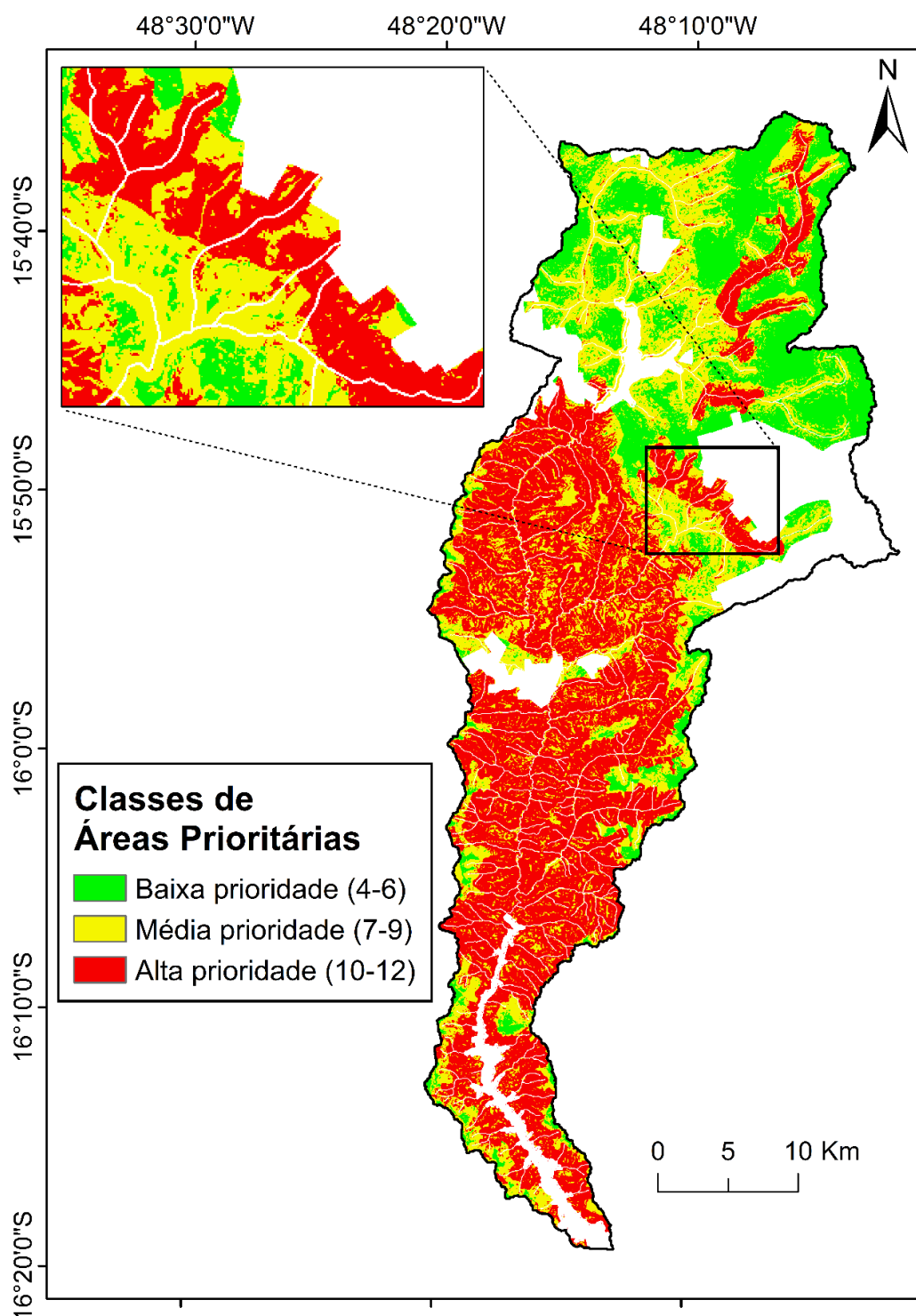


Figura 22: Mapa de áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto, classificadas em três níveis de prioridade.

Em geral, as áreas mais críticas (em vermelho) encontram-se nas proximidades da rede de drenagem, indicando a prioridade de conservação de áreas de preservação permanente e de faixas de proteção para a manutenção da qualidade e da quantidade de água.

Na tabela 12 abaixo estão demonstradas as áreas (km² e percentual) de cada classe de prioridade analisada. Ressalta-se que o valor da área total da bacia descrita na Tabela 12 (1.056,91 km²), considera aquelas áreas que não englobem os lagos, as APPs e as áreas urbanas.

Tabela 12: Quantificação das áreas prioritárias para ações de conservação de solo e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto.

Prioridade	Área (km ²)	Área (%)
Baixa	232,64	22,01
Média	327,39	30,98
Alta	496,88	47,01
Total	1.056,91	100,00

Existem atualmente 496,88 km² de áreas consideradas de alta prioridade (47,01% do total de 1.056,91 km²), as quais apresentam graus críticos em mais de um dos fatores analisados. Na Figura abaixo foram destacadas somente as áreas que foram classificadas como de alta prioridade, demonstrando os usos do solo que foram identificados nessas áreas.

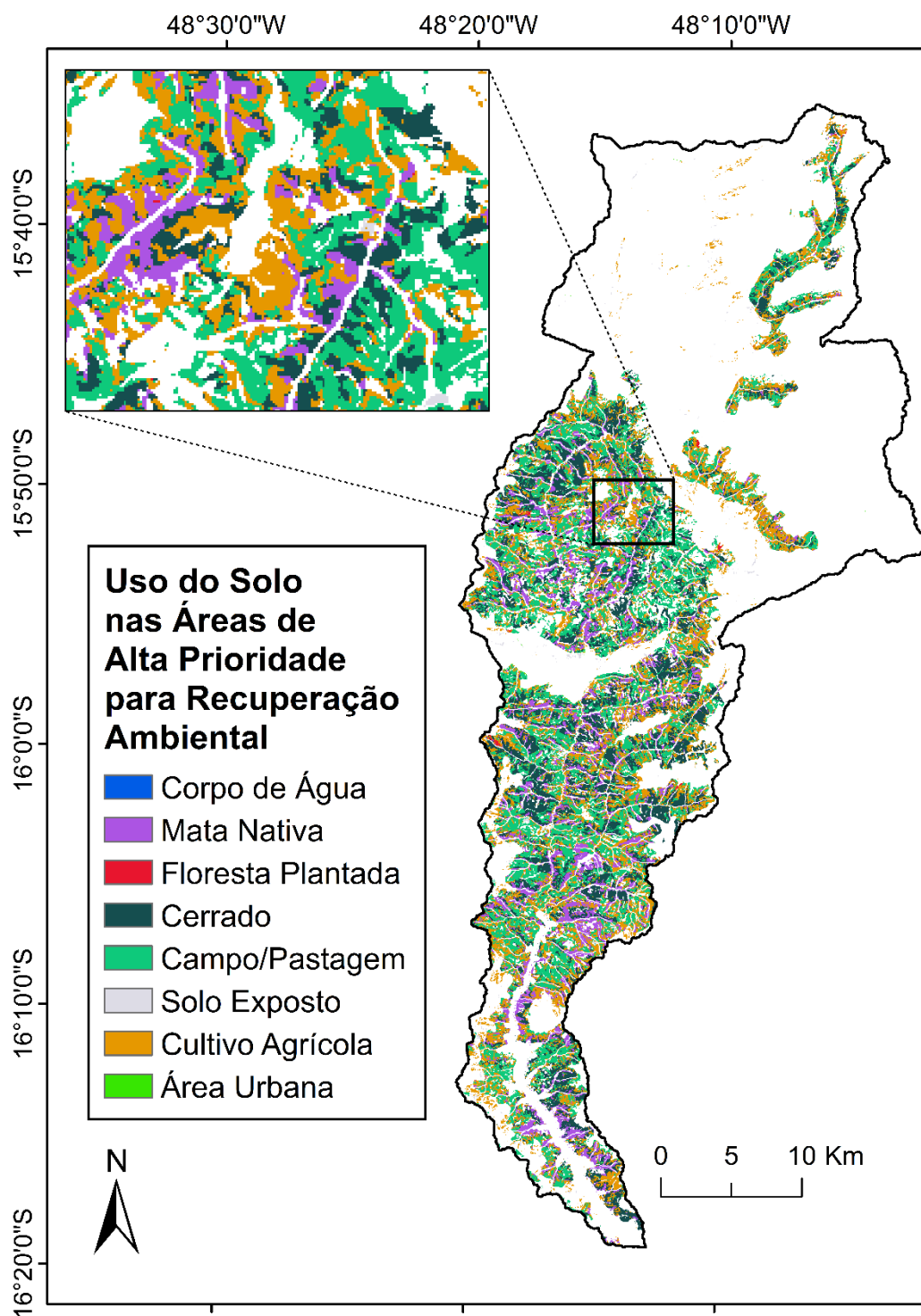


Figura 23: Uso do solo nas áreas consideradas de alta prioridade para ações de conservação e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto.

Na tabela abaixo estão quantificados os tipos de uso do solo encontrados na classe de alta prioridade para conservação e recuperação ambiental. O principal uso do solo

identificado nas áreas de alta prioridade foram os Campo e pastagens, que correspondem a 32,53% das áreas prioritárias e ocupam uma área de mais de 161,65 km² (tabela 13).

Tabela 13: Quantificação das classes de uso do solo identificadas nas áreas de alta prioridade para ações de conservação ambiental na Bacia do Rio Descoberto.

Uso do Solo	Área (km ²)	Área (%)
Campo/Pastagem	161,65	32,53
Cultivo Agrícola	139,37	28,05
Cerrado	126,61	25,48
Mata Nativa	65,16	13,11
Solo Exposto	2,94	0,59
Floresta Plantada	1,14	0,23
Corpo de Água	0,0009	0,00
Total	496,88	100,00

O segundo uso do solo mais abundante em áreas de alta prioridade para ações de conservação do solo são os cultivos agrícolas. Wadt *et al.* (2003) destacam que, para culturas perenes e agroflorestas, normalmente os maiores problemas de erosão ocorrem nos primeiros anos de implantação, quando as espécies arbustivas ou arbóreas se apresentam pouco desenvolvidas e produzem uma cobertura do solo ineficiente.

6.6 Medidas de conservação do solo e recuperação ambiental

Para sistemas de pastagens, boas práticas de manejo como o plantio de leguminosas em consórcio com gramíneas, rotação de pastos e o não uso do fogo são benéficas para o controle da erosão (WADT *et al.*, 2003). Os autores destacam que nas áreas de pastagens, na época de reforma ou implantação, é aconselhável construir terraços, dimensionados por técnicos experientes, para disciplinar o escoamento da água da chuva e minimizar os efeitos dos processos erosivos.

O terraceamento consiste na construção de um conjunto de terraços projetados, segundo as condições locais, para controlar a erosão de determinada área e têm como princípio o seccionamento ou a subdivisão dos comprimentos de rampa de forma a

interceptar o escoamento superficial, diminuindo sua velocidade e seu poder erosivo (WADT, 2003).

Outra técnica adequada à conservação de solo em pastagens e campos é a construção de barraginhas ou baciões. Essa técnica consiste em dotar pequenas propriedades e, no conjunto, toda a bacia hidrográfica, de pequenas barragens ou mini-açudes, nos locais em que ocorram enxurradas volumosas e excessivas, barrando-as e amenizando seus efeitos, retendo juntamente materiais assoreadores e poluentes, como terra, adubo e agrotóxicos, que iriam para córregos e mananciais (DE BARROS, 2000).

De Barros (2000) explica que o sistema de barraginhas tem por objetivo um carregamento integrado, onde as bacias na porção superior do terreno, quando cheias, começam a verter o excesso de água para as bacias mais baixas. Desse modo, esse sistema apresenta diversas vantagens como: o aumento da infiltração da água no solo, diminuição da velocidade de escoamento superficial, amenização de estiagens por meio da perenização de mini-açudes nas áreas mais baixas, além de proporcionar a filtragem da água e sua posterior liberação para córregos e rios (DE BARROS, 2000).

Para os cultivos agrícolas, as técnicas mais recomendadas são o cultivo em nível, a construção de terraços e o plantio de leguminosas, como adubos verdes, intercaladas com as espécies comerciais (WADT *et al.*, 2003). Outra técnica que pode ser usada é o plantio direto, que é um sistema de plantio que elimina o revolvimento do solo e promove a agrobiodiversidade, através da rotação de culturas e de diferentes usos da terra, além de manter o solo coberto com culturas em crescimento ou com resíduos vegetais (DE ANDRADE *et al.*, 2010).

As áreas de Cerrado e Matas Nativas merecem atenção no sentido de acompanhar a sua qualidade ambiental. O Plano de Manejo da APA Bacia do Rio Descoberto destaca que o Bioma Cerrado vem sofrendo a conversão de áreas naturais para usos antrópicos, de modo que essas transformações trouxeram grandes danos ambientais como a fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade e a invasão de espécies exóticas (KLINK & MACHADO, 2005, *apud* MMA, 2014).

Assunção e Felfili (2004) destacam que o Distrito Federal se localiza na área nuclear do Bioma Cerrado e tem sofrido acelerada ação depredatória dos recursos naturais. Os autores destacam que apesar de grande parte do DF estar ocupada com unidades de conservação, muitas destas áreas não estão recebendo o devido cuidado.

Os autores destacam ainda que o conhecimento sobre a distribuição e organização da biodiversidade nas comunidades do Cerrado ainda são reduzidas, mas que estas informações são de grande importância para avaliar os impactos antrópicos, fazer o planejamento de unidades de conservação e auxiliar na adoção de técnicas de manejo (FELFILI & SILVA JÚNIOR, 2001, *apud* ASSUNÇÃO & FELFILI, 2004).

Nesse sentido, é importante o fomento a atividades de pesquisa nos remanescentes florestais e nas áreas de cerrado nativo, para que sejam instituídos programas científicos de longa duração visando ao acompanhamento da flora e da fauna, e também a programas de extensão florestal para auxiliar os produtores rurais na adoção de boas práticas de manejo do solo, recuperação ambiental e manejo sustentável.

Sabendo da necessidade de realizar diversas ações para a conservação do solo e manutenção da qualidade e quantidade da água na Bacia do Rio Descoberto, é preciso entender em que contexto organizacional essas ações podem dar certo. Para Castello Branco (2015), alterações significativas no atual quadro de degradação dos ecossistemas só podem ser proporcionadas por um conjunto de ações que vão além do modelo convencional de comando e controle, incorporando outros instrumentos e formas de incentivo econômico, em especial aqueles baseados no mercado.

O artigo 41 do Código Florestal (BRASIL, 2012), dispõe que o Poder Executivo federal está autorizado a instituir *“programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente, bem como para adoção de tecnologias e boas práticas que conciliem a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais, como forma de promoção do desenvolvimento ecologicamente sustentável”*, como por exemplo *“pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais”*.

Wunder (2005), citado por Guedes & Seehusen (2011) define Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) como *“transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido, ou um uso da terra que possa assegurar este serviço, é adquirido por, pelo menos, um comprador de no mínimo, um provedor, sob a condição de que ele garanta a provisão do serviço (condicionalidade).”*.

Os produtores rurais brasileiros, apesar de serem ambientalmente conscientes, têm pequena disposição de investir em manejos e práticas conservacionistas em função do

baixo nível de renda da atividade e da falta de políticas públicas que permitam compensar esses produtores pelas externalidades positivas que geram, portanto, o modelo *provedor-recebedor*, baseado em incentivos, é reconhecidamente mais eficiente que o tradicional modelo *usuário-pagador* (ANA, 2009).

Os projetos de PSA já são uma realidade no âmbito internacional e também no Brasil. No Distrito Federal destaca-se o Programa Produtor de Água (ANA, 2000), que visa aplicar o modelo de *provedor-recebedor*, incentivando a compensação financeira aos agentes que contribuem para a proteção e recuperação de mananciais. Neste programa, o produtor recebe incentivos financeiros proporcionais aos benefícios relativos ao abatimento da sedimentação em sua propriedade (CHAVES *et al.* 2004).

Para este Programa especificamente, o Manual Operativo (ANA, 2009) traz critérios de elegibilidade para a seleção de novas bacias hidrográficas para o programa. São eles: A bacia já deve ter implementado os instrumentos de gestão previstos na Lei 9.433/1997, como os Planos de Recursos Hídricos e a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a bacia deve estar com problemas de poluição difusa de origem rural, erosão e déficit de cobertura vegetal; a bacia deve ser um manancial de abastecimento de água para uso urbano ou industrial e a bacia deve ter um número mínimo de produtores rurais interessados, para que a aplicação do programa seja viabilizada.

A Bacia do Rio Descoberto apresenta enorme potencial para um programa de pagamento por serviços ambientais de sucesso, pois apesar de ser a principal fonte de abastecimento do Distrito Federal, a Bacia possui muitas APPs irregulares e em áreas urbanas, pastos e campos degradados com baixo potencial de infiltração e alto escoamento superficial, solos expostos e ambientes naturais fragmentados. Destaca-se, finalmente, a urgência para a implementação desse arranjo, pois o DF já se encontra em estado de alerta quanto à possibilidade de escassez hídrica, tendo realizado racionamentos sucessivos durante este ano de 2016.

7. CONCLUSÃO

A situação ambiental atual da Bacia do Rio Descoberto é de conflito de uso, pois apesar de sua importância para a segurança hídrica da região, verifica-se grande presença de áreas de baixa produtividade, como campos e pastos, e também a expansão das áreas urbanas, o que pode prejudicar a manutenção de água em quantidade e qualidade adequadas.

Foi observado o grande desafio para o Distrito Federal e para o estado de Goiás para a adequação ambiental de suas APPs de corpos hídricos, visto que 41,16% das APPs analisadas encontram-se com usos incompatíveis com aqueles previstos em lei. Além disso, 47,01% das áreas onde foi aplicada a análise multicritérios foi classificada como de Alta prioridade para ações de conservação de solo e recuperação ambiental, o que também representa um grande desafio. Ambos os casos também podem ser tratados como oportunidades, pois o investimento nessas ações constitui-se fonte geradora de empregos e benefícios socioambientais.

A adoção de programas de pagamentos por serviços ambientais poderia ajudar na conservação dos recursos hídricos, visto que foram identificadas diversas situações em que investimentos são necessários, como na recuperação ambiental de áreas de preservação permanente e na adoção de boas práticas de manejo em cultivos agrícolas, os quais poderiam ser viabilizados por meio da compensação de usuários dos serviços ambientais aos provedores desses serviços.

Quando um projeto de conservação ou recuperação ambiental cumpre seus objetivos, toda a sociedade se beneficia de suas externalidades positivas, de modo direto ou indireto. Deste modo, a responsabilidade pela viabilização e execução desse projeto de desenvolvimento sustentável para a Bacia do Rio Descoberto também deve ser compartilhada, entre os provedores e os usuários da água.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA. **Proposta de Resolução para o caso de escassez hídrica recebe importantes sugestões.** 10/08/2016.
<http://www.adasa.df.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1654>.
- ALBUQUERQUE, L. B. et al.. **Restauração ecológica de matas ripárias: uma questão de sustentabilidade.** Planaltina, DF: Documentos/ Embrapa Cerrados, 2010.
- ANA. **Programa produtor de água: manual operativo.** Agência Nacional de Águas. Brasília, 2009.
- AQUINO, F. G. *et al.* **Restauração de matas de galeria e ciliares.** Brasília, DF: Embrapa, 2012.
- ARAÚJO, P. C. et al.. **Avaliação da qualidade da água numa microbacia com diferentes tipos de uso agrícola, por meio de geoprocessamento.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1419.
- ASSUNÇÃO, S. L. & FELFILI, J. M. **Fitossociologia de um fragmento de cerrado sensu stricto na APA do Paranoá, DF, Brasil.** Acta bot. bras. 18(4): 903-909. 2004.
- AZEVEDO, A. A. (consultoria) **Análise dos impactos ambientais da atividade agropecuária no Cerrado e suas inter-relações com os recursos hídricos na Região do Pantanal.** WWF. (s.d.). Disponível em: <http://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_brasil_impactos_atividade_agropecuaria_cerrado_pantanal.pdf>
- BECKER, F. G. Aplicações de sistemas de informação geográfica em ecologia e manejo de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (edit). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus, Ba: Editus, 2002.
- BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. **Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental.** Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.
- BOCHNER, J. K. **Proposta metodológica para identificação de áreas prioritárias para recomposição florestal – estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Macacu/RJ.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. 2010.
- BRASIL. (1997) **Política Nacional de Recursos Hídricos: Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, janeiro de 1997.
- BRASIL. (2000) **Sistema Nacional de Unidades de Conservação: Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição

Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, julho de 2000.

BRASIL. (2012) **Lei de Proteção à Vegetação Nativa: Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, maio de 2012.

CAIXETA, P. R. C.; PIMENTA, D. F. N.; DO AMARAL, R. V.; SCHAEFER, C. E. **Análise multi-critério (MCE) aplicada ao mapeamento de áreas susceptíveis a movimentos de massas na área urbana de Viçosa-MG**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012, p. 001 – 009.

CAMARA, G. MEDEIROS, J. S.; Geoprocessamento para Projetos Ambientais In: CAMARA, G; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. In: **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344 p. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3ukuKE/BQGus>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

CÂMARA, G; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344 p. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZ3ukuKE/BQGus>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

CASTELLO BRANCO, M. R. **Pagamento por serviços ambientais: da teoria à prática**. Instituto Terra de Preservação Ambiental – ITPA. Rio Claro, RJ, 2015.

CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A. F.; DOS SANTOS, D. G. **Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria**. Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Brasília, 2004.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. **Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32: 333-343, 2008.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; SANTOS, M. V. **Evaluation of the sediment trapping efficiency of gallery forests through sedimentation modeling**. Proceedings of the International Symposium on Assessment and Monitoring of Forests in Tropical Dry Regions with Special Reference to Gallery Forests. University of Brasilia. 1997.

- CHAVES, H.M.L.; ALIPAZ, S. **An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index**. Water Resour Manage (2007) 21: 883-895.
- DE ANDRADE, A. G.; DE FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos gerais do manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. IN: PRADO, R. B; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.
- DE ARAÚJO NETO, J. R. *et al.* **Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil**. Irriga, Botucatu, Edição Especial, p. 264-279, 2012.
- DE BARROS, L. C. **Captação de águas superficiais de chuvas em barraginhas**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 16 p. Circular Técnica, 2.
- DE CARVALHO, T. M.; FERREIRA, M. E.; BAYER, M. **Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do Bioma Cerrado: Um estudo de caso para Goiás**. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife-PE, V. 01, n. 01, Mai/ago, 2008, 62-72.
- DE MARIA, I. C. Geotecnologias e modelos aplicados ao manejo e conservação do solo e da água. IN: PRADO, R. B; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.
- DE OLIVEIRA-FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. **Potencial de impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.
- DO CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; ANGÉLICA, R. S. **Estudo geoquímico de sedimentos de corrente da bacia hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD), Brasília/DF**. Geochim. Brasil., 17(2) 106-120. 2003.
- DO CARMO, M. S.; BOAVENTURA, G. R.; OLIVEIRA, E. C. **Geoquímica das águas da bacia hidrográfica do rio Descoberto, Brasília/DF – Brasil**. Quim. Nova, Vol. 28, No. 4, 565-574, 2005.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf>
- FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. **Especialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2643-2650.
- FREIRE, C. C; DE OMENA, S. P. F. **Princípios de hidrologia ambiental**. Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Santa Catarina/ UFSC e Universidade Federal de Alagoas/UFAL. CNPq. 2005.
- GRISOTTO, L. E. G.; PEREIRA, A. A. de O.; BITTENCOURT, A. G.; MACHADO, R. D. **Geoestatística e avaliação multicriterial no processo de planejamento e**

- desenvolvimento local e regional do estado de São Paulo.** Congresso PLURIS 2012 – Reabilitar o Urbano. Paranoá, n° 6.
- GUEDES, F. B. & SEEHUSEN, S. E. (org.) **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios.** Brasília: MMA, 2011.
- HADLICH, G. M. **Análise de relações entre declividade e uso do solo com auxílio do geoprocessamento, município de Sombrio, SC.** VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006. 6p.
- HOFFMANN, W. A.; JACKSON, R. B. **Vegetation-climate feedbacks in the conversion of tropical savanna to grassland.** Journal of Climate, vol. 13. May, 2000. P 1593-1602.
- ISP. **Perfil do Ecossistema –Hotspot de Biodiversidade do Cerrado.** Critical Ecosystem Partnership Fund. Abril, 2016. Coord. ISP e CI-Brasil.
- LASKAR, A. **Integrating GIS and multicriterial decision making techniques for land resource planning.** Thesis (Master os Science in Geoinformatics). ITC – International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 2003.
- LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (edit). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus, Ba: Editus, 2002.
- MENESES, P.R. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P. R.; DE ALMEIDA, T. (org). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: CNPq, 2012. 276p.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. IN: PRADO, R. B; TURETTA, A. P. D.; DE ANDRADE, A. G. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.
- MINISTÉRIO do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo APA Bacia do Rio Descoberto.** 2014.
- NOSSACK, F. A.; SARTORI, A. A. C.; DA SILVA, R. F. B.; MORAES, D. C. A.; ZIMBACK, C. R. L. **Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal visando conectividade entre fragmentos: Análise Multicriterial.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.4062.
- NUNES, J. F. **O Modelo LUCIS e o Planejamento Territorial da Bacia do Alto Rio Descoberto.** Dissertação Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília, 2014.
- PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

- PIRES, J. S. R.; DOS SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (edit). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, Ba: Editus, 2002.
- RUHOFF, A. L. **Modelagem dinâmica de escoamento superficial na Bacia do Arroio Grande, RS**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3529-3531.
- SANTANA, D. P. **Manejo integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63 p. Documentos, 30.
- SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu. 2010.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. Revista Brasileira de Recurso Hídricos – RBRH, Volume 10, n. 4, Out/Dez 2005, 05-18.
- SILVA, A. M. et al. **Perdas por erosão e erodibilidade de cambissolo e latossolo roxo no sul de minas gerais – resultados preliminares**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001.
- TEZA, C. T. V. **Bacia hidrográfica do Alto Descoberto: As influências da ocupação e uso na disponibilidade hídrica para abastecimento público**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2008.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente - SQA. Brasília: MMA, 2006. 302 p.
- USDA-NRCS. **National Engineering Handbook – Chapter 4: Hydrology**. Washington, 1972, 500 p.
- VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. Tese (Doutorado). Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.
- VALENTE, R. O. A.; VETORAZZI, C. A. **A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1681-1683.
- VETORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. Tese (Livre Docência em Topografia) – Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

WADT, P. G. S. *et al.* **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.** Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 29 p. Documentos, 90.